

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

АШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ



ПРОИЗВОДСТВ

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 1996 ГОДУ

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ



ПРОИЗВОДСТВ

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 1996 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Член-корреспондент РАН Ю.М. Соломенцев - председатель

профессор Ю.В. Копыленко - зам. председателя

профессор А.Г. Схиртладзе - ответственный секретарь

профессор Г.Н. Андреев

профессор В.В. Бушуев

доцент В.Н. Гусев

доцент А.А. Кутин

профессор В.Г. Митрофанов

профессор В.Л. Сосонкин

Н.М. Тищенко

В

ДЛЯ ВУЗОВ

И. М. Колесов

ОСНОВЫ
ТЕХНОЛОГИИ
МАШИНОСТРОЕНИЯ



Москва
"Машиностроение", "СТАНКИН"
1997

УДК 621.9(075)
ББК 34.5
К 60

Рецензенты: д-р техн. наук проф. Л.В. Худобин, кафедра технологии машиностроения Тульского государственного технического университета

К60 Колесов И.М.
Основы технологии машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов. — М.: Машиностроение, 1997. — 592 с.: ил. ISBN 5-217-02692-8

Изложены теоретические основы технологии машиностроения и показано их применение при разработке технологических процессов изготовления машин. Большое внимание уделено вопросам обеспечения требуемого качества изготавливаемых машин, повышения производительности производственных процессов и снижения себестоимости продукции.

Для студентов машиностроительных вузов на уровне подготовки бакалавров, магистров наук и дипломированных инженеров по направлению 552900 "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств".

ББК 34.5

ISBN 5-217-02692-8

© Издательство "Машиностроение", 1997
© Издательство "СТАНКИН", 1997

ВВЕДЕНИЕ

Жизнь современного человека немыслима без машин, оказывающих ему помощь в труде, в перемещениях на близкие и дальние расстояния, способствующих удовлетворению его материальных и духовных запросов. В жизни человека машина служит средством, с помощью которого выполняется тот или иной технологический процесс, дающий ему необходимые материальные или культурные блага. Таким образом, любая машина создается для осуществления определенного технологического процесса, в результате выполнения которого получается полезная для человека продукция.

Человеческое общество постоянно испытывает потребности в новых видах продукции, либо в сокращении затрат труда при производстве освоенной продукции. В обоих случаях эти потребности могут быть удовлетворены только с помощью новых технологических процессов и новых машин, необходимых для их выполнения. Следовательно, стимулом к созданию новой машины всегда является новый технологический процесс, возможность осуществления которого, однако, зависит от уровня научного и технического развития человеческого общества.

Машина может быть полезна лишь в том случае, если она обладает надлежащим качеством, т.е. способностью удовлетворить потребности людей, побудившие ее создание. Некачественные машины не могут принести пользы. Наоборот, они наносят ущерб, так как труд, вложенный в их создание, частично или даже полностью оказывается затраченным напрасно.

Ресурсы труда в жизни человеческого общества представляют собой наивысшую ценность. Поэтому человек всегда стремился к экономии затрат труда в любом выполняемом им деле. Создавая машину, человек ставит перед собой следующие две задачи:

сделать машину качественной и тем самым обеспечить экономию труда в получении производимой с ее помощью продукции;

затратить меньшее количество труда в процессе создания и обеспечения качества самой машины.

Путь создания машины сложен (рис. В.1). Замысел новой машины возникает при разработке технологического процесса изготовления продукции, в производстве которой возникла потребность. Этот замысел выражается в виде формулировки служебного назначения машины, являющейся исходным документом в проектировании машины. Для изготовления спроектированной машины разрабатывают технологический процесс и на его основе создают производственный процесс, в результате осуществления которого получается машина, нужная для выполнения технологического процесса изготовления продукции и удовлетворения возникшей потребности.

Процесс создания машины от формулировки ее служебного назначения и до получения в готовом виде четко подразделяют на два этапа: проектирование и изготовление. Первый этап завершается разработкой конструкции машины и представлением ее в чертежах, второй — реализацией конструкции с помощью производственного процесса. Построение и осуществление второго этапа составляет основную задачу технологии машиностроения.

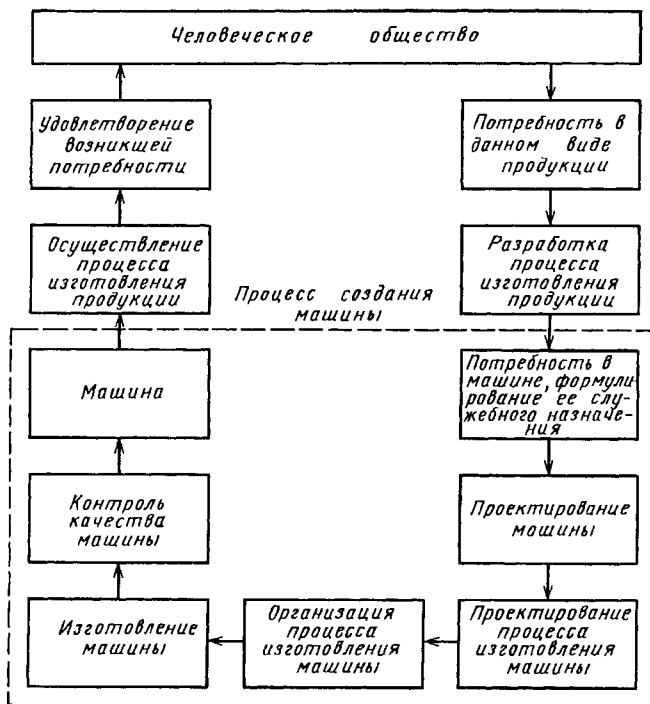


Рис. В.1. Этапы создания машины

Зарождение технологии машиностроения, как отрасли науки, необходимо отнести к периоду появления трудов, содержащих описание опыта производства машин. По-видимому, накопленный опыт впервые был изложен профессором Московского университета И.А. Двигубским, выпустившим в 1807 г. книгу "Начальные основания технологии или краткое описание работ, на заводах и фабриках производимых". Дальнейшее описание опыта нашло отражение в трудах профессоров И.А. Тиме (1838—1920 гг.), А.П. Гавриленко (1861—1914 гг.) и др.

С тех пор развитие технологии машиностроения шло в направлении обобщения опыта и выявления общих зависимостей и закономерностей. Большой вклад в становление технологии машиностроения был сделан советскими учеными Б.С. Балакшиным, Н.А. Бородачевым, К.В. Вотиновым, Л.А. Глейзером, В.И. Дементьевым, М.Е. Егоровым, А.А. Зыковым, И.И. Ивашкевичем, А.И. Кашириным, В.М. Кованом, В.С. Корсаковым, А.А. Маталиным, Э.А. Сателем, А.П. Соколовским, Д.В. Чарнко, А.Б. Яхиным и многими другими.

Современное представление технологии машиностроения сформировалось на основе трудов многих поколений отечественных и зарубежных ученых и работников промышленности, способствовавших ее становлению как отрасли технической науки, где изучают *связи и закономерности в производственных процессах изготовления машин*.

Конструкция любой машины в своей сущности является сложной системой двух видов сопряженных множеств связей: свойств материалов и размерных. Какое бы назначение не имела машина, возможности конструктора при разработке ее конструкции ограничены выбором материалов с необходимыми свойствами и приданием конструктивных форм, размеров, относительного положения поверхностей деталей и самим деталям в машине.

Для реализации такой системы связей в материале должен быть создан и осуществлен производственный процесс, представляющий собой другую систему сопряженных множеств связей: свойств материалов, размерных, информационных, временных и экономических. Связи свойств материалов с размерными связями нужны в производственном процессе для создания аналогичных связей в изготавливаемой машине. Информационные связи необходимы для управления производственным процессом, а сам производственный процесс не может быть осуществлен вне времени и без затрат живого и овеществленного труда, т.е. без наличия связей временных и экономических.

Таким образом, создание машины сводится к построению двух систем связей: конструкции машины — системы множеств двух видов связей, и производственного процесса ее изготовления — системы множеств пяти видов связей (рис. В.2). По своим свойствам эти системы различны. Если систему связей, составляющих конструкцию машины, можно считать строго детерминированной, то производ-

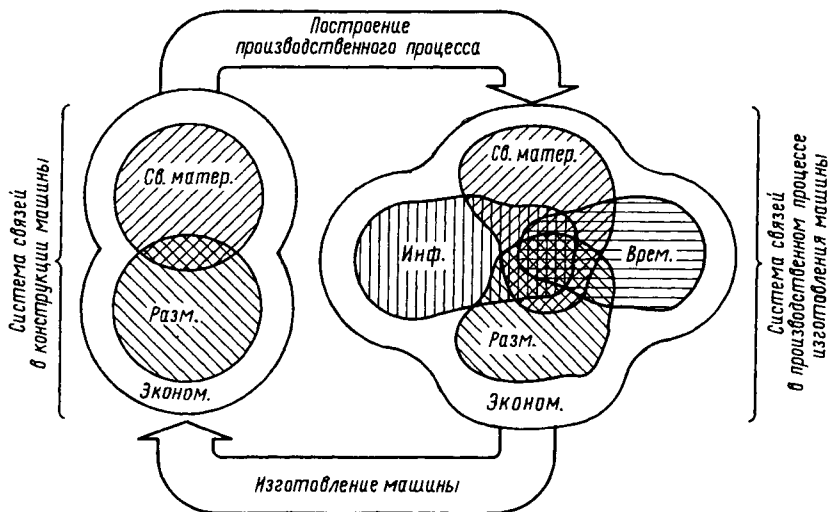


Рис. В.2. Системы множеств связей, представляющих конструкцию машины и производственный процесс ее изготовления:
 св. матер., разм., инф., врем., эконом. — связи соответственно свойств материалов, размерные, информационные, временные, экономические

ственный процесс — это очень сложная вероятностная система, относящаяся к категории кибернетических систем.

Для того чтобы создать качественную машину с наименьшими затратами труда, необходимо, во-первых, вести проектирование машины исходя из ее служебного назначения и обеспечить его выполнение связями свойств материалов и размерными связями, закладываемыми в конструкцию машины. Во-вторых, необходимо связи производственного процесса строить в строгой согласованности с системой связей, содержащихся в конструкции машины.

Рассматривая производственный процесс изготовления машины как проявление системы связей свойств материалов, размерных, информационных, временных и экономических, технология машиностроения исследует эти связи с целью решения задач обеспечения в процессе производства требуемого качества машины, наименьшей ее себестоимости и повышения производительности труда. Таково современное научное толкование содержания технологии машиностроения и задач, решаемых ею.

Этому представлению о технологии машиностроения во многом способствовали труды лауреата Ленинской премии, Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, Почетного доктора-инженера Дрезденского технического университета, д-ра техн. наук. проф.

Бориса Сергеевича Балакшина, заведовавшего кафедрой технологии машиностроения в Московском станкоинструментальном институте с 1946 по 1974 гг.

Б.С. Балакшину как технологу-машиностроителю принадлежат многие революционные идеи, благодаря которым был сделан шаг от описания опыта металлообработки и явлений, сопутствующих ей, к науке о построении качественной и экономичной машины. Идея о связях в машине и технологическом процессе ее изготовления, соподчиненности этих связей и необходимости осознанного управления ими заключена в теории базирования Б.С. Балакшина, теории размерных цепей, в методе проектирования технологического процесса изготовления машины. Б.С. Балакшину принадлежат идеи об адаптивном управлении процессами изготовления деталей, временных связях в производственных процессах и многие другие, обобщение которых было сделано им в капитальных трудах "Технология станкостроения" (М.: Машгиз, 1949 г.) и "Основы технологии машиностроения" (М.: Машиностроение. 1-е изд. 1959, 2-е изд. 1966 и 3-е изд. 1969 г.).

Труды Б.С. Балакшина и многих других ученых-технологов заложили прочную теоретическую основу технологии машиностроения. Дальнейшим развитием этой важнейшей для народного хозяйства отрасли науки считаем, прежде всего, осмысление связей производственного процесса изготовления машины и разработку методов осознанного построения и управления этими связями. Дело в том, что, несмотря на крупные достижения в области технологии машиностроения при производстве машин, опыт и интуиция людей в построении и управлении производственными процессами по-прежнему остаются весьма значительными. Задачи повышения качества продукции, а также острая необходимость в существенном повышении производительности труда в машиностроении и в экономии затрат человеческого труда вынуждают прибегать к автоматизации производственных процессов с использованием электронной вычислительной техники. Ее применение требует глубокого понимания сущности производственного процесса, в осуществлении которого обычно участвуют органы чувств, ум, знания, опыт и интуиция человека.

Учебник "Основы технологии машиностроения" должен помочь студентам при изучении теории технологии машиностроения. Глава 1 учебника посвящена разъяснению основных положений и понятий, используемых в технологии машиностроения. В главе 2 раскрывается смысл понятия о связях в машине и в производственном процессе ее изготовления. Далее рассмотрены общие положения размерных связей, без уяснения которых невозможно понять взаимосвязь действий по обеспечению требуемого качества машины на этапах конструирования и изготовления машины.

Обеспечению требуемого качества машины отведен значительный объем в учебнике. В отдельную главу выделено обеспечение качества создаваемой машины при формулировке ее служебного назначения, переходе от него к нормам точности и при конструировании. Необходимость изложения этих вопросов в технологии машиностроения объясняется тем, что инженер-механик должен иметь ясное представление о том, что задача обеспечения качества машины едина, что на этапе ее изготовления решаетея вторая часть этой задачи и что это решение невозможно без понимания хода ее решения вначале.

В учебнике автор раскрывает смысл информационных, временных и экономических связей, указывая методы и средства претворения их в жизнь с наибольшим эффектом.

В заключительных главах учебника автор, опираясь на материалы, изложенные ранее, подводит студента к достижению главной цели в изучении технологии машиностроения — овладению методом построения технологических и производственных процессов, обеспечивающих получение качественных машин при наименьших затратах живого и овеществленного труда.

При написании учебника автор стремился не только сохранить идеологию и положения научной технологической школы Б.С. Балакшина, но и, по мере сил, содействовать ее развитию. Этим объясняется новая интерпретация некоторых вопросов, содержащихся в книге Б.С. Балакшина "Основы технологии машиностроения". В учебнике описаны также новые научные разработки, принадлежащие автору.

Формирование технологических знаний инженеров-машиностроителей основано на изучении многих дисциплин. К их числу следует отнести изучение свойств материалов и способов их обработки, технологического и производственного оборудования, технологической оснастки, методов и средств измерения, методов построения и организации технологических и производственных процессов, управления их ходом, автоматизации и экономики. Широкий круг задач, решаемых при проектировании и осуществлении технологического процесса на основе этих дисциплин, привел к возникновению понятия "системная технология", которое включает в себя систему технологических знаний, используемых при построении технологического и производственного процессов изготовления машины.

Автор благодарит кафедру "Технология машиностроения" Тульского Государственного технического университета и д-ра техн. наук проф. Л.В. Худобина за рецензирование учебника. Глубокую признательность автор выражает Л.В. Худобину за ценные советы и техническую помощь, оказанную при подготовке учебника к изданию, а также Э.Ф. Голубеву и А.Н. Аникееву за материальную поддержку, способствующую выпуску учебника.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПОНЯТИЯ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

1.1. ПОНЯТИЕ О МАШИНЕ И ЕЕ СЛУЖЕБНОМ НАЗНАЧЕНИИ

Понятие о "машине" формировалось на протяжении многих веков. Неоднократно оно уточнялось, меняло содержание. Однако с давних времен под машиной понимали устройство, предназначенное для действия в нем сил природы сообразно потребностям человека.

В настоящее время понятие "машина" трактуется с разных позиций и в различном смысле. Например, с точки зрения механики машина — механизм или сочетание механизмов, выполняющих движения для преобразования энергии, материалов или производства работ. Появление электронно-вычислительных устройств, стихийно причисленных к категории машин, вынудило определить машину как механизм или сочетание механизмов, осуществляющих определенные целесообразные движения для преобразования энергии, выполнения работ или же для сбора, передачи, хранения, обработки и использования информации.

В свое время Д.И. Менделеевым машиной была названа... доменная печь. А известный английский кибернетик Стаффорд Бир машину рассматривает как систему, организация которой с определенной точки зрения подчинена осуществлению поставленных перед нею задач и использует термин "машина" при описании механических, биологических, социальных или формальных систем.

С точки зрения технологии машиностроения, машина является либо объектом, либо средством производства. Поэтому для технологии машиностроения нет необходимости связывать это понятие с биологической или социальной формой движения материи и можно определить машину как систему, созданную трудом человека, для качественного преобразования исходного продукта в полезную для человека продукцию. Процесс преобразования может вестись механическим, физическим, химическим путем как каждым в отдельности, так и в сочетаниях.

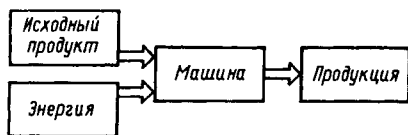


Рис. 1.1. Преобразование исходного продукта в продукцию

Исходным продуктом процесса, осуществляемого машиной, могут быть предметы природы, сырье или полуфабрикаты. Под сырьем понимается предмет труда, на добычу или производство которого был затрачен труд. Сырье, которое подверглось обработке, но не может быть потреблено как готовый продукт, называют полуфабрикатом.

Продукция — это результат производства в виде сырья, полуфабрикатов, созданных материальных и культурных благ или выполненных работ производственного характера.

Процесс качественного преобразования исходного продукта в продукцию чаще всего машины осуществляют по схеме, представленной на рис. 1.1. Но есть машины, преобразовывающие один вид энергии в другой. Это двигатели и генераторы. Исходным продуктом для них является преобразуемая энергия, а продукцией — энергия преобразованная.

В табл. 1.1 в качестве примера приведены преобразования исходного продукта в продукцию с помощью машин.

Эта таблица может быть бесконечна, так как нет счета машинам, окружающим нас. Однако и очень краткий перечень машин показывает, что каждая из них создана для выполнения определенного процесса, т.е. имеет свое, строго определенное предназначение или, как принято считать, свое служебное назначение.

1.1. Преобразования машинами исходного продукта в продукцию

Исходный продукт	Энергия	Машина	Продукция
Заготовка	Электрическая	Станок	Деталь
Груз	Механическая	Автомобиль	Перевезенный груз
Ткань, нить	Механическая	Швейная машина	Шов
Электромагнитные волны	Электрическая	Телевизор	Изображение и звук
Задача	Электрическая	ЭВМ	Решение задачи
Энергия сгораемого топлива	—	Двигатель внутреннего сгорания	Механическая энергия

Под *служебным назначением машины* понимают четко сформулированную конкретную задачу, для решения которой предназначена машина.

Формулировка служебного назначения машины должна содержать подробные сведения, конкретизирующие общую задачу и уточняющие условия, при которых эта задача может быть решена. Так, формулируя служебное назначение автомобиля, недостаточно сказать, что автомобиль предназначен для перевозки грузов. Необходимо конкретизировать характер грузов, их массу и объем, условия, расстояния и скорость перевозки, состояние дорог, климат, требования к внешнему виду автомобиля и многое другое с тем, чтобы исчерпывающе определить именно ту задачу, которую должен выполнять создаваемый автомобиль.

Служебное назначение машины описывают не только словесно, но и системой количественных показателей, определяющих ее конкретные функции, условия работы и ряд дополнительных моментов в соответствии с задачей, которую предстоит решать с помощью создаваемой машины. Формулировка служебного назначения машины является важнейшим документом в задании на ее проектирование.

1.2. КАЧЕСТВО И ЭКОНОМИЧНОСТЬ МАШИНЫ

Предназначаемая для производства какой-то продукции машина сама является продукцией машиностроительного предприятия и, как одна из разновидностей продукции, обладает качеством и экономичностью.

Под *качеством машины* понимают совокупность ее свойств, обуславливающих способность выполнять свое служебное назначение. К показателям качества машины можно отнести лишь то, что характеризует меру полезности машины, т.е. ее способность удовлетворять потребности людей в соответствии со своим назначением. Такими показателями являются качество продукции, производимой машиной, производительность машины, ее надежность, долговечность физическая и моральная, безопасность работы и удобство управления, уровень шума, коэффициент полезного действия, степень механизации и автоматизации, техническая эстетичность и т.п.

В проектирование машины, ее изготовление, эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонты вкладывается конкретный труд.

Создание машины, ее эксплуатация, обслуживание и ремонты сопряжены с использованием энергии, технических средств и материалов. Все вместе взятое образует стоимостное свойство машины — ее *экономичность*. Показателем \mathcal{E} экономичности машины может служить сумма затрат на проектирование $\mathcal{Z}_{\text{пр}}$, изготовление $\mathcal{Z}_{\text{изг}}$, эксплуатацию $\mathcal{Z}_{\text{э}}$, техническое обслуживание $\mathcal{Z}_{\text{т.о}}$ и ремонты $\mathcal{Z}_{\text{рем}}$, отнесенная к количеству N продукции, произведенной за период ее службы:

$$\mathcal{E} = \frac{\mathcal{Z}_{\text{пр}} + \mathcal{Z}_{\text{изг}} + \mathcal{Z}_{\text{э}} + \mathcal{Z}_{\text{т.о}} + \mathcal{Z}_{\text{рем}}}{N}.$$

Между показателями качества и экономичности машины существуют связи, приводящие к влиянию одних на другие. Например, повышение качества машины по любым показателям сопряжено с увеличением ее стоимости. Но в то же время повышение уровня такого показателя качества, как надежность машины, сократит затраты труда на устранение отказов, техническое обслуживание и ремонты. Потребление машиной энергии, топлива, материалов при эксплуатации, в известной мере характеризующее экономичность машины, во многом зависит от качества ее изготовления и т.п.

Наличие связей между показателями качества и экономичности не означает свободу отнесения того или иного показателя к любой из категорий. Возможность такой свободы исключается принципиальным различием между показателями качества и экономичности. Первые из них отражают степень пригодности, полезности, наконец те блага, которые извлекает человек, используя машину, вторые — цену этих благ, их стоимость.

Качество машины обеспечивается уровнем проектных решений, от которого зависит техническое совершенство конструкции машины, и технологией, определяющей качество деталей, сборки и отделки машины (рис. 1.2).

Экономичность машины находится в более сложной зависимости от технического совершенства конструкции машины и технологии ее изготовления. Например, стоимость машины зависит от качества, количества и стоимости материалов, выбранных конструктором в процессе проектирования. Однако конечные затраты на мате-

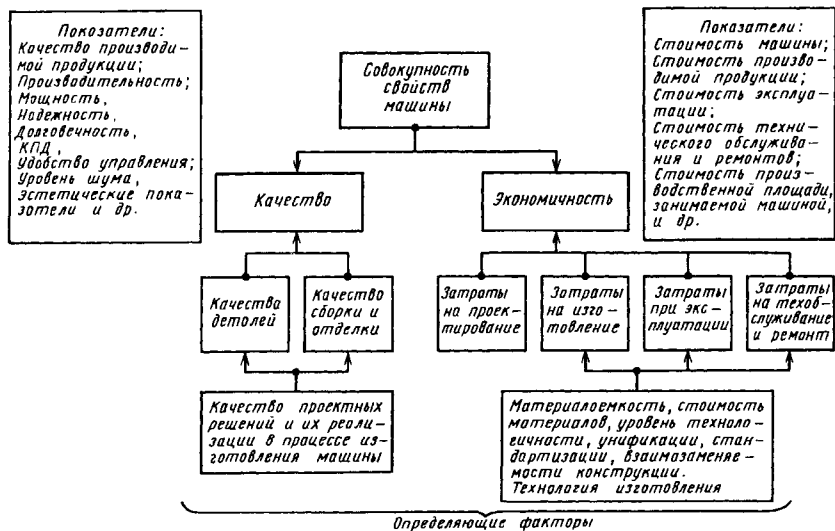


Рис. 1.2. Совокупности свойств, определяющих качество и экономичность машины

риалы, входящие в себестоимость, можно определить лишь после осуществления технологического процесса ее изготовления. Уровень унификации и технологичности машины определяет конструктор. Но влияние этих факторов на себестоимость машины проявляется не прямым путем, а через технологию ее изготовления. Влияние этих же факторов скажется и на затратах по техническому обслуживанию и ремонту машины. Такие экономические показатели, как потребление машиной энергии, топлива и материалов в процессе эксплуатации в первую очередь зависят от качества конструкторских решений. Но вместе с тем на значения этих показателей влияет качество реализации технологического процесса и т.д.

Таким образом, обеспечение качества и экономичности машины в процессе ее создания является общей задачей конструктора и технолога. Ее успешное решение возможно при тесном сотрудничестве и взаимопонимании друг друга.

Проблема создания качественных и экономичных машин по праву считается центральной и наиболее сложной. Сложны не только создание конструкции и реализация самой идеи о новой машине. Сложно также обеспечение ее качества и экономичности при конструировании и изготовлении, так как любая машина создается

для выполнения процесса, наделенного вероятностными свойствами, а изготовление сопровождается явлениями случайного характера.

Поскольку случайные события и явления неизбежны как при эксплуатации машины, так и в процессе ее изготовления, то решение задач обеспечения качества и экономичности создаваемой машины не может обойтись без привлечения теории вероятностей и математической статистики.

1.3. ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Основные понятия

Случайной называют величину, которая в зависимости от случая принимает те или иные значения с определенной вероятностью.

Условимся обозначать случайные величины прописными буквами латинского алфавита: X, Y, \dots , а их возможные значения соответственно строчными буквами: x, y, \dots .

Случайные величины могут иметь различный характер. В частности, случайная величина может быть скалярной, вектором, функцией и др. С каждой случайной величиной можно связать определенное событие. Событие, которое может произойти или не произойти в результате данного опыта, называют случайным. Количественной оценкой возможности осуществления случайного события A служит вероятность $P(A)$.

Вероятностью события A называют отношение числа случаев m , благоприятствующих этому событию, к числу n всех возможных случаев в данном опыте:

$$P(A) = m/n.$$

При этом все случаи должны быть равновозможны, несовместимы и независимы.

Вероятность события является объективной мерой его возможности и определяется в предположении проведения очень большого числа

опытов, в результате которых появляется данное событие, поэтому эта величина имеет теоретический характер. Практической же характеристикой возможности случайного события A служит частота события $m(A)$, представляющая собой отношение частоты f появления события A к общему числу N проведенных опытов или испытаний:

$$m(A) = f/N.$$

Между вероятностью и частотой какого-либо события существует приближенное равенство

$$P(A) = m/n \approx f/N,$$

которое будет тем точнее, чем больше число испытаний.

Для того чтобы охарактеризовать случайную величину, необходимо задать закон ее распределения. Под *распределением случайной величины* понимают совокупность ее значений, расположенных в возрастающем порядке с указанием либо их вероятностей в теоретическом, либо частостей в практическом распределении.

Распределения случайных величин дискретного характера можно представить в виде таблиц (табл. 1.2 и 1.3) или графика (рис. 1.3), составленного на основании табл. 1.3.

1.2. Теоретическое распределение дискретной случайной величины

x	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	...	x_n	
$P(x_i)$	$P(x_1)$	$P(x_2)$	$P(x_3)$	$P(x_4)$	$P(x_5)$...	$P(x_n)$	$\sum_{i=1}^n P(x_i) = 1$

1.3. Практическое распределение дискретной случайной величины

X	1	2	3	4	5	
$m(x_i)$	$\frac{1}{20}$	$\frac{3}{20}$	$\frac{8}{20}$	$\frac{5}{20}$	$\frac{3}{20}$	$\sum_{i=0}^5 m(x_i) = 1$

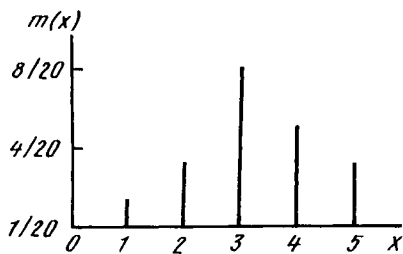


Рис. 1.3. Распределение случайной дискретной величины

Распределение случайной величины непрерывного типа может быть представлено также и в виде таблицы, и в виде графиков.

Для составления таблицы практического распределения непрерывной случайной величины в совокупности ее значений находят максимальное и минимальное значения и определяют разность между ними. Разность между x_{\max} и x_{\min} называют *полем рассеяния* ω случайной величины:

$$\omega = x_{\max} - x_{\min}.$$

Значения случайной величины, составляющие совокупность, делят на равные интервалы. Их число k определяют из отношения значения ω к избранному значению a интервала:

$$k = \omega / a.$$

Относя каждое значение случайной величины к тому или иному интервалу, подсчитывают частоты ее значений в границах интервалов и определяют частоты значений x_i .

Пример. Пусть в партии валов из 100 шт. диаметр одной из шеек $d_{\min} = 32,13$ мм и $d_{\max} = 32,36$ мм. Тогда $\omega_d = 32,36 - 32,13 = 0,23$ мм.

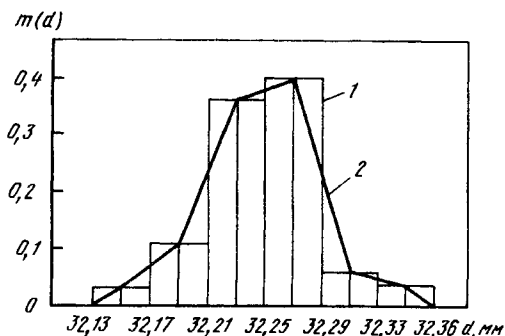
При избранном значении $a = 0,04$ мм число интервалов $k = \omega_d / a = 0,23 / 0,04 \approx 6$.

Установив границы интервалов и подсчитав частоту размеров d_i , отнесенных к соответствующим интервалам, получим данные о распределении значений диаметра шейки вала:

d_i , мм	32,13—32,16	32,17—32,20	32,21—32,24	
Номер интервала	1	2	3	
f_i	3	11	36	
$m(d_i)$	0,03	0,11	0,36	
<hr/>				
d_i , мм	32,25—32,28	32,29—32,32	32,33—32,36	
Номер интервала	4	5	6	
f_i	40	6	4	$\Sigma f_i = 100$
$m(d_i)$	0,40	0,06	0,04	$\Sigma m(d_i) = 1$

Рис. 1.4. Практическая кривая распределения непрерывной случайной величины:

1 — гистограмма; 2 — кривая распределения



Практическое распределение непрерывной случайной величины графически может быть представлено либо гистограммой распределения, либо практической кривой (полигоном) распределения. Гистограмма распределения — это ступенчатый график, состоящий из прямоугольников, ширина которых равна значению интервала, а высота — частотам или частостям значений случайной величины в своих интервалах. Изобразив в том же масштабе частоты или частости прямыми линиями, исходящими из середин каждого интервала, и соединив их верхние точки ломаной линией, получают практическую кривую (полигон) распределения. В качестве примера на рис. 1.4 приведены оба графика, построенные по данным таблицы 1.4.

Наиболее общей формой закона распределения случайной величины является ее функция распределения. *Функцией распределения* или интегральным законом распределения скалярной случайной величины X называют вероятность выполнения неравенства $X < x$:

$$F(x) = P(X < x).$$

Для дискретной случайной величины функция распределения $F(x)$ может быть найдена по таблице или по графику распределения для любого значения x , как сумма вероятностей тех значений X , которые лежат влево от точки с координатой x . В примере распределения случайной величины по табл. 1.3 и графику на рис. 1.3 для $X < 4$

$$F(x) = P(X < 4) = P(x=1) + P(x=2) + P(x=3) = \\ = 1/20 + 3/20 + 8/20 = 12/20.$$

Интегральный закон распределения можно представить в виде графика $F(x)$. Для дискретной случайной величины график функции распределения будет иметь вид ступенчатой кривой (рис. 1.5).

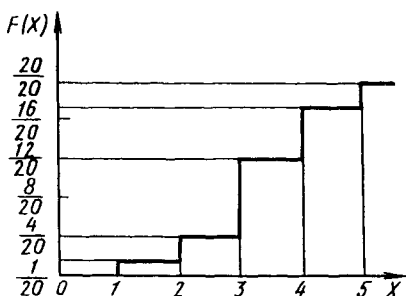


Рис. 1.5. Интегральный закон распределения дискретной случайной величины

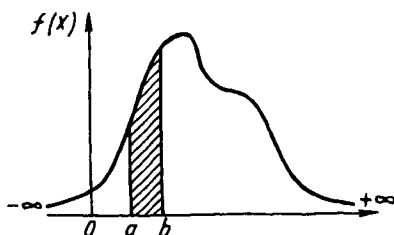


Рис. 1.6. Дифференциальный закон распределения непрерывной случайной величины

Имея функцию распределения дискретной случайной величины, можно вычислить вероятность ее нахождения в границах от x_1 до x_2 :

$$P(x_1 \leq X < x_2) = F(x_2) - F(x_1).$$

Для непрерывной случайной величины график функции распределения будет иметь вид монотонно возрастающей кривой, а сама функция будет дифференцируемой. Производную $f(x) = F'(x)$ функции распределения $F(x)$ непрерывной случайной величины X называют *плотностью вероятности* или *дифференциальным законом распределения* этой случайной величины.

Графически дифференциальный закон распределения может быть представлен кривой линией, построенной в координатах $x, f(x)$ (рис. 1.6). Зная плотность вероятности, можно определить вероятность того, что значение случайной величины X окажется в интервале от a до b :

$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx.$$

В данном случае вероятность будет равна площади участка с основанием ab , ограниченного сверху кривой плотности вероятности. При $a = -\infty$ и $b = +\infty$

$$P(-\infty < X < +\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1.$$

Дифференциальный закон или плотность вероятности дает полную картину распределения случайной величины. Однако такая полная характеристика распределения не всегда является необходимой. В ряде теоретических и практических задач оказывается достаточным знание отдельных числовых характеристик, определяющих положение центра группирования $M(x)$ случайной величины и ее рассеяние около этого центра. В качестве характеристик положения центра группирования $M(x)$ чаще используют математическое ожидание и среднее арифметическое значение случайной величины, а в качестве мер рассеяния — дисперсию, среднее квадратическое отклонение и поле рассеяния.

Обозначим математическое ожидание случайной величины X через $M[x]$ или сокращенно m_x . Тогда математическое ожидание дискретной случайной величины

$$m_x = \sum_{i=1}^n x_i P(x_i),$$

где n — число возможных значений случайной величины x .

Математическое ожидание непрерывной случайной величины

$$m_x = M[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx,$$

где $M[X]$ — характеристика теоретического распределения случайной величины.

В практических задачах положение центра группирования $M(x)$ характеризует среднее арифметическое значение случайной величины

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m x_i f_i,$$

где f_i — частота отдельных значений x_i ; m — число отдельных значений x_i ; n — общее число значений x_i .

Одной из характеристик разброса или рассеяния значений случайной величины около центра группирования $M(x)$ является дисперсия. Дисперсия дискретной случайной величины

$$D_x = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 P(x_i).$$

Если же случайная величина непрерывная, то ее дисперсия

$$D_x = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx.$$

На практике чаще используют не саму дисперсию, а положительный квадратный корень из нее, называемый средним квадратическим отклонением $\sigma_x = +\sqrt{D_x}$.

Для практических распределений

$$\sigma_x = + \sqrt{\left(\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{X})^2 f_i \right) / n}.$$

Размерность σ_x совпадает с размерностью самой случайной величины.

Таким образом, для того чтобы охарактеризовать распределение случайной величины, надо иметь как минимум две числовые характеристики. Одна из них (m_x или \bar{X}) определяет положение центра группирования, другая (D_x или σ_x) — разброс значений случайной величины около центра группирования.

Комплектом характеристик распределения следует считать также поле рассеяния случайной величины

$$\omega_x = x_{\max} - x_{\min}$$

и координаты середины поля рассеяния

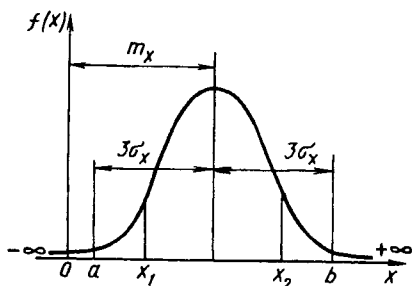
$$\Delta_{\omega_x} = 0,5 (x_{\max} + x_{\min}).$$

В симметричных распределениях центр группирования $M(x)$ оказывается совмещенным с Δ_{ω} .

Законы распределения

Распределения случайных величин в зависимости от условий могут подчиняться вполне определенным законам. Из этих законов наибольшее практическое значение в технологии машиностроения имеет закон нормального распределения или закон Гаусса, для

Рис. 1.7. Дифференциальный закон нормального распределения случайной величины



которого плотность вероятности или дифференциальная функция распределения

$$f(x) = e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} / \sigma_x \sqrt{2\pi},$$

где x — переменная случайная величина; σ_x — среднее квадратическое отклонение величины x от m_x ; m_x — математическое ожидание величины x .

Дифференциальная функция закона нормального распределения графически изображается холмообразной кривой, симметричной относительно центра группирования, представляемой величинами m_x или \bar{X} (рис. 1.7). Координата центра группирования определяет положение кривой относительно начала отсчета, а параметр σ_x — ее форму и размах.

Функцию или интегральный закон нормального распределения в общем виде можно записать так:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} dx.$$

Если изменение случайной величины x следует закону нормальному распределения, она может принимать любые значения в пределах $\pm\infty$. Поэтому

$$P(-\infty < x < +\infty) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} dx = 1.$$

Вероятность $P(-\infty < x < +\infty) = 1$ представляет собой площадь под дифференциальной кривой закона нормального распределения. Очевидно, что вероятность значений x в любом другом интервале $x_1 - x_2$ меньше единицы:

$$P(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} dx.$$

Для облегчения вычислений эту формулу с помощью нормирующего множителя $t = (x - m_x)/\sigma_x$ можно привести к виду

$$P(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{2\pi} \int_{t_1}^{t_2} e^{-t^2/2} dt.$$

Интеграл $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} dt = \Phi(t)$ называют *нормированной функцией Лапласа* и его значения для различных $t = (x - m_x)/\sigma_x$ приводят в таблицах, обычно именуемых "Значения функции Лапласа". При использовании этих таблиц решение задачи по определению вероятности того, что случайная величина x находится в пределах $x_1 - x_2$, сводится к нахождению разности между двумя значениями t_1 и t_2 функции Лапласа:

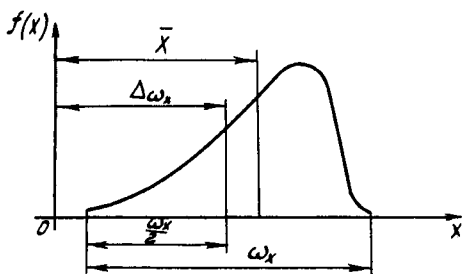
$$\begin{aligned} P(x_1 < x < x_2) &= \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = \\ &= \Phi\left(\frac{x_2 - m_x}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - m_x}{\sigma_x}\right). \end{aligned}$$

Считают, что практическая зона рассеяния случайной величины x , подчиняющейся закону нормального распределения, лежит в пределах $m_x \pm 3\sigma_x$ и составляет $6\sigma_x$. При $x_a = m_x - 3\sigma_x$ и $x_b = m_x + 3\sigma_x$ значения

$$\begin{aligned} t_1 &= (x_a - m_x)/\sigma_x = (m_x - 3\sigma_x - m_x)/\sigma_x = -3 \text{ и} \\ t_2 &= (x_b - m_x)/\sigma_x = (m_x + 3\sigma_x - m_x)/\sigma_x = 3. \end{aligned}$$

Следовательно, $P[(m_x - 3\sigma_x) < x < (m_x + 3\sigma_x)] = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = \Phi(3) - \Phi(-3) = 2\Phi(3)$.

Рис. 1.8. Несимметричное распределение случайной величины



Согласно таблицам, содержащим значения функции Лапласа, $2\Phi(3) = 0,9973$. Это означает, что вероятность нахождения случайной величины вне указанного интервала $q = 1 - P = 1 - 0,9973 = 0,0027$, т.е. очень мала.

Ограничение рассеяния значением $6\sigma_x$ объясняется объективными экономическими причинами, обусловленными уровнем развития науки и техники. В ряде случаев используют и более широкие пределы, например $\pm 4\sigma_x$.

Распределение случайной величины по нормальному закону является следствием действия многих факторов, носящих случайный характер, имеющих примерно одинаковую степень активности и независимых или слабо зависящих один от другого. Такой комплекс условий не всегда оказывается полным. Его нарушение, даже в какой-то степени, приводит к отклонению закона распределения от нормального.

Одной из форм таких отклонений может быть несимметричность кривой рассеяния (рис. 1.8), характеризуемая коэффициентом асимметрии α , учитывающим смещение центра группирования $M(x)$ относительно координаты Δ_{ω_x} середины поля рассеяния ω_x :

$$\alpha = \frac{(\bar{X} - \Delta_{\omega_x})}{0,5\omega_x}.$$

Условия решения задачи могут иметь различную специфику. В соответствии с этим распределения случайных величин могут быть подчинены другим законам. Не останавливаясь на всем их многообразии, коснемся только двух из них: закона равной вероятности и закона Симпсона, имеющих практическое значение в технологии машиностроения.

Распределение по закону равной вероятности встречается, когда наряду со случайными факторами, вызывающими рассеяние, действует доминирующий систематический фактор, непрерывно и равномерно изменяющийся во времени положение центра группирования $M(x)$. Графически такое распределение случайной величины отображается прямоугольником (рис. 1.9).

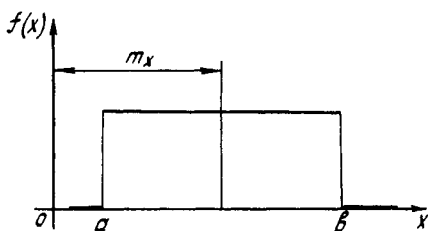


Рис. 1.9. Распределение случайной величины по закону равной вероятности

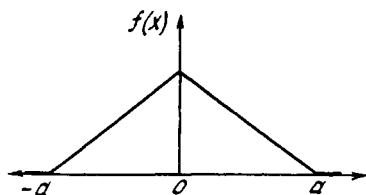


Рис. 1.10. Распределение случайной величины по закону Симпсона

При изменении случайной величины x в интервале от a до b

$$P(a < x < b) = \int_a^b f(x) dx = 1.$$

Дифференциальный закон распределения или плотность вероятности

$$f(x) = \begin{cases} (b-a)^{-1} & \text{при } a \leq x \leq b; \\ 0 & \text{при } x > b; x < a. \end{cases}$$

Математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратическое отклонение соответственно равны:

$$m_x = (b+a)/2; \quad D_x = (b-a)^2/12; \quad \sigma_x = (b-a)/2\sqrt{3}.$$

К распределению по закону Симпсона приводит сложение двух случайных величин, подчиненных закону равной вероятности при одинаковых параметрах рассеяния. Кривая рассеяния имеет вид равнобедренного треугольника (рис. 1.10), из-за чего закон Симпсона часто называют законом треугольника.

При выборе в качестве начала отсчета случайной величины ее математическое ожидание и характеристики распределения имеют следующий вид:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{a} \left(1 - \frac{|x|}{a} \right) & \text{при } -a < x < a; \\ 0 & \text{при } x < -a; x > a; \end{cases}$$

$$m_x = 0; \quad D_x = a^2/6; \quad \sigma_x = \frac{a}{\sqrt{6}}.$$

Если распределения по законам Симпсона и равной вероятности рассматривать как отклонения от закона нормального распределения, то можно отразить и количественную сторону этих отклонений с помощью коэффициента λ , именуемого *относительным средним квадратическим отклонением*:

$$\lambda = 2\sigma_x / \omega_x.$$

Подставив в эту формулу величины σ_x и ω_x , соответствующие трем законам распределения случайной величины, получим для каждого из них свое значение коэффициента λ (табл. 1.4).

1.4. Значения относительного среднего квадратического отклонения

Закон распределения	σ_x	ω_x	λ
Нормальный (Гаусса)	σ_x	$6\sigma_x$	$\frac{1}{3}$
Симпсона	$\frac{a}{\sqrt{6}}$	$2a$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$
Равной вероятности	$\frac{b-a}{2\sqrt{3}}$	$b-a$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$

Векторные случайные величины

При совместном рассмотрении двух случайных величин X и Y их можно трактовать как координаты случайной точки на плоскости или как составляющие случайного вектора V .

Функцией распределения двумерного случайного вектора с составляющими X , Y или совместной функцией распределения случайных величин X , Y называют вероятность совместного выполнения неравенств $X < x$, $Y < y$, рассматриваемую как функцию переменных x и y :

$$F(x, y) = P \left(\begin{array}{l} X < x \\ Y < y \end{array} \right).$$

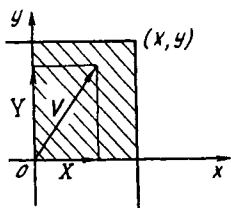


Рис. 1.11. Поверхность распределения двумерного случайного вектора с составляющими X, Y

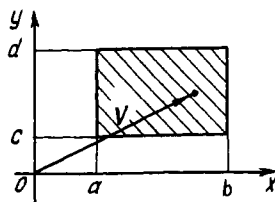


Рис. 1.12. Распределение случайного вектора V в прямоугольнике $abcd$

Функция распределения двумерного случайного вектора представляет собой вероятность попадания конца этого вектора в четверть плоскости, заштрихованную на рис. 1.11.

Вероятность попадания конца вектора в прямоугольник, ограниченный прямыми $x = a, x = b, y = c, y = d$ (рис. 1.12),

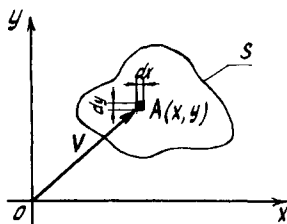
$$P \left(\begin{array}{l} a \leq X < b \\ c \leq Y < d \end{array} \right) = F(b, d) - F(a, d) - F(b, c) - F(a, c).$$

Плотность вероятности двумерного случайного вектора V , составляющими которого являются случайные величины X, Y , или совместная плотность вероятности этих величин

$$f(x, y) = \lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta y \rightarrow 0}} \frac{P \left(\begin{array}{l} x \leq X < x + \Delta x \\ y \leq Y < y + \Delta y \end{array} \right)}{\Delta x \Delta y}.$$

Выражение $f(x, y) dx dy$ представляет собой вероятность попадания случайной точки A в элемент площади $dx dy$, расположенный в точке с координатами x, y . Поэтому вероятность попадания точки A в произвольную область S плоскости (рис. 1.13) выражается интегралом от плотности вероятности, распространенным на эту область:

Рис. 1.13. Распределение случайного вектора V в произвольной области S



$$P(A \in S) = \iint_S f(x, y) dx dy.$$

Математическим ожиданием случайного вектора V является вектор с составляющими, равными математическим ожиданиям величин X и Y , и представляющий собой векторную сумму этих величин:

$$m_{\vec{V}} = M[\bar{X}] + M[\bar{Y}] = m_{\bar{x}} + m_{\bar{y}}.$$

Геометрически математическое ожидание случайного вектора представляет собой радиус-вектор средней точки попадания конца вектора V в область S .

При отсутствии связи между случайными величинами X и Y , образующими случайный вектор V , его теоретическими характеристиками рассеяния на плоскости являются дисперсии D_x , D_y или средние квадратические отклонения σ_x и σ_y , определяемые по формулам для обычных случайных величин. Если же между величинами X и Y имеется связь, то в дополнение к дисперсиям необходимо задать вероятностную характеристику связи составляющих случайного вектора V , именуемую корреляционным моментом

$$K_{x,y} = M[(X - m_x)(Y - m_y)] = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)(y - m_y) f(x, y) dx dy.$$

Таким образом, рассеяние возможных значений случайного вектора V на плоскости характеризуют по меньшей мере три числа:

$$k_{11} = D_x = M[(X - m_x)^2];$$

$$k_{22} = D_y = M[(Y - m_y)^2];$$

$$k_{12} = M[(X - m_x)(Y - m_y)].$$

Введя для полноты величину $k_{21} = M[(Y - m_y)(X - m_x)] = k_{12}$, совокупность характеристик рассеяния случайного вектора можно представить в виде симметричной корреляционной матрицы

$$\begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{pmatrix}.$$

При отсутствии связи между величинами X и Y значения $k_{12} = k_{21} = 0$.

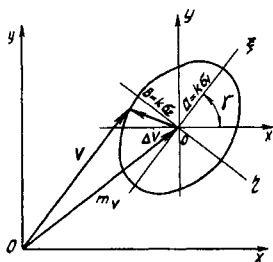
Корреляционная матрица случайного вектора не изменяется от прибавления к случайному вектору произвольного неслучайного вектора. Геометрически это свойство проявляется в том, что рассеяние случайного вектора на плоскости не зависит от выбора начала отсчета, что позволяет рассматривать рассеяние отклонений случайного вектора от его математического ожидания вместо рассеяния самого случайного вектора.

При распределении составляющих X, Y случайного вектора V по нормальному закону рассеяние на плоскости его отклонений от математического ожидания ограничивается эллипсом, носящим название *эллипса рассеяния* (рис. 1.14). Центр эллипса находится в точке с координатами m_x, m_y . Оси эллипса принято называть осями рассеяния, а характеристики рассеяния отклонений случайного вектора в направлении этих осей — главными дисперсиями D_1 и D_2 или главными квадратическими отклонениями σ_1 и σ_2 .

Оси эллипса образуют единственную прямоугольную систему координат, в которой составляющие случайного вектора или его отклонения являются несвязанными случайными величинами.

Эллипс рассеяния представляет собой геометрическое место точек равных плотностей вероятности. Полуоси эллипса пропорциональны главным средним квадратическим отклонениям:

$$a = k\sigma_1; \quad b = k\sigma_2.$$



При $k = 1$ эллипс рассеяния называют единичным. Полным или практически предельным эллипсом рассеяния случайного вектора (его отклонений) на плоскости называют эллипс при $k = 3$. Вероятность попадания случайной точки за пределы полного эллипса равна 0,011.

Рис. 1.14. Эллипс рассеяния

Большая ось эллипса рассеяния наклонена к оси OX под углом γ :

$$\operatorname{tg} 2\gamma = 2k_{12}/(k_{11} - k_{22}).$$

Угол γ лежит в первой или третьей четверти при $k_{12} > 0$ и во второй или четвертой четверти при $k_{12} < 0$.

Значение большей D_1 и меньшей D_2 дисперсий можно определить по следующим формулам:

$$D_1 = \frac{1}{2} \left[k_{11} + k_{22} + \sqrt{(k_{11} - k_{22})^2 + 4k_{12}} \right];$$

$$D_2 = \frac{1}{2} \left[k_{11} + k_{22} - \sqrt{(k_{11} - k_{22})^2 + 4k_{12}} \right].$$

При вычислении дисперсий берут положительное значение корня.

Вероятность попадания случайной точки, распределенной по нормальному закону, в область S , ограниченную эллипсом рассеяния,

$$P[(X, Y) \in S] = 1 - e^{-k^2/2},$$

где k — размеры полуосей эллипса в средних квадратических отклонениях.

Если $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$, рассеяние по нормальному закону называют круговым.

Важной практической задачей является определение характеристик рассеяния случайного вектора на основании наблюдаемых значений случайного вектора в нескольких несвязанных опытах. Пусть x_1, x_2, \dots, x_N и y_1, y_2, \dots, y_N — значения составляющих случайного вектора \hat{V} , которые он принял в N опытах, произведенных в одинаковых условиях. Ограниченность числа опытов позволяет лишь предполагать приближение к теоретическим значениям характеристик, найденных по формулам:

$$m_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i;$$

$$m_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i;$$

$$k_{11} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - m_x)^2;$$

$$k_{12} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - m_x)(y_i - m_y);$$

$$k_{22} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - m_y)^2.$$

Эти формулы используют при сравнительно малых значениях N . Данные наблюдений обычно сводят в таблицу (табл. 1.5) и дополняют их значениями x_i^2 , $x_i y_i$ и y_i^2 , а элементы корреляционной матрицы вычисляют по упрощенным формулам:

$$k_{11} = \frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 - N m_x^2 \right);$$

$$k_{12} = \frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N x_i y_i - N m_x m_y \right);$$

$$k_{22} = \frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N y_i^2 - N m_y^2 \right).$$

1.5. Практические характеристики рассеяния вектора

i	x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$	y_i^2
1					
2					
...					
N					
Σ	$\sum_{i=1}^N x_i$	$\sum_{i=1}^N y_i$	$\sum_{i=1}^N x_i^2$	$\sum_{i=1}^N x_i y_i$	$\sum_{i=1}^N y_i^2$

В технологии машиностроения часто встречаются задачи, требующие суммирования не связанных случайных векторов V, W, \dots , характеристики распределения которых на плоскости (математические ожидания, направления больших осей эллипсов рассеяния, главные дисперсии или главные среднеквадратические отклонения) известны. Для нахождения характеристик распределения суммарного вектора Z необходимо проделать следующее.

1. Вычислить математическое ожидание m_z как векторную сумму математических ожиданий m_V, m_W, \dots слагаемых векторов.

2. Вычислить значения величин:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (D_{1i} + D_{2i});$$

$$B = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (D_{1i} - D_{2i}) \sin 2\gamma_i;$$

$$C = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (D_{1i} - D_{2i}) \cos 2\gamma_i.$$

3. Найти элементы корреляционной матрицы суммарного вектора Z :

$$k_{11z} = A + C; \quad k_{12z} = B; \quad k_{22z} = A - C.$$

4. Определить направление большой оси эллипса суммарного рассеяния:

$$\operatorname{tg} 2\gamma_z = B / C.$$

5. Определить значения главных дисперсий:

$$D_{1z} = A + B \sin 2\gamma_z + C \cos 2\gamma_z;$$

$$D_{2z} = A - B \sin 2\gamma_z - C \cos 2\gamma_z.$$

6. Вычислить главные средние квадратические отклонения:

$$\sigma_{1z} = +\sqrt{D_{1z}}; \quad \sigma_{2z} = +\sqrt{D_{2z}}.$$

7. По полученным данным в избранной системе отсчета построить вектор математического ожидания суммарного случайного вектора Z , а на конце вектора m_z единичный или полный эллипс рассеяния отклонений вектора Z относительно своего математического ожидания.

Рассмотренные положения о двумерном случайном векторе распространяются и на случайный вектор в трехмерном пространстве, а также на систему n случайных величин (X_1, X_2, \dots, X_n) в пространстве n измерений. Теория многомерного случайного вектора дана в трудах [21, 22].

Функции случайных аргументов

В практике технологии машиностроения часто приходится определять вероятностные характеристики случайной величины по известным характеристикам распределения других случайных величин, связанных с первой функциональной зависимостью типа

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n).$$

Если функция не линейна, но может быть с достаточной степенью точности линеаризирована (заменена линейной функцией) и приведена к виду

$$Y \approx \varphi(m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_n}) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)_m (X_i - m_{x_i}),$$

где $\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)_m = \frac{\partial \varphi(m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_n})}{\partial x_i}$ — частная производная функции

по аргументу x_i , в которую вместо каждого аргумента подставлено математическое ожидание, то приближенные характеристики распределения такой функции могут быть вычислены по следующим формулам.

Математическое ожидание

$$m_y = \varphi(m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_n}).$$

Дисперсия

$$D_y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)_m^2 D_{x_i} + 2 \sum_{i \neq j} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)_m \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_j} \right)_m k_{x_i x_j},$$

где D_{x_i} — дисперсия случайной величины x_i ; $k_{x_i x_j}$ — корреляционный момент величин x_i, x_j .

Когда случайные аргументы x_1, x_2, \dots, x_n не коррелированы,

$$D_y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)_m^2 D_{x_i}.$$

Если функция линейна и представляет собой алгебраическую сумму несвязанных случайных аргументов $Y = X_1 + X_2 + \dots + X_n$, то ее математическое ожидание

$$m_y = \sum_{i=1}^n m_{x_i},$$

а дисперсия

$$D_y = \sum_{i=1}^n D_{x_i}.$$

1.4. СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА

При всем разнообразии машин есть общее, что их объединяет: любая из машин предназначена для осуществления какого-то процесса или участия в нем. Однако и сама машина является продукцией процесса, осуществленного на машиностроительном предприятии при ее изготовлении. Таким образом, процесс — это, с одной стороны, средство изготовления машины, с другой — цель ее функционирования в производстве.

Под процессом, в самом широком смысле этого слова, понимают последовательные изменения какого-либо предмета или явления или совокупность последовательных действий, направленных на достижение определенного результата.

Реальный мир, окружающий нас, полон событий, нарушающих намеченный ход процесса, выполняемого машиной или с помощью машины. Машине всегда приходится работать в непрерывно изменяющихся условиях: во времени не остаются постоянными качество исходного продукта, количество сообщаемой энергии, изменяется состояние окружающей среды и самой машины. Все это вызывает нестабильность качества, количества продукции, производимой в единицу времени, и ее стоимости (рис. 1.15).

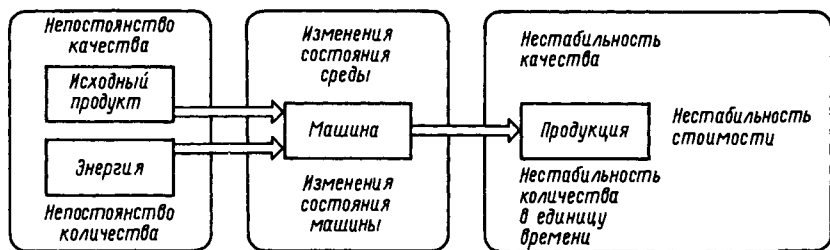


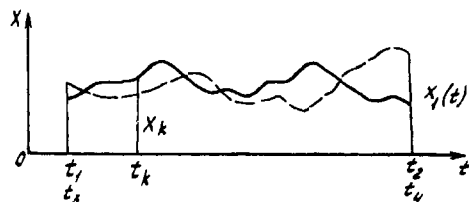
Рис. 1.15. Нестоянство качества, количества и стоимости производимой продукции из-за нестабильности условий, в которых машина осуществляет процесс

Если в промежутке времени $t_1 - t_2$ проследить за изменением какой-либо характеристики x исходного продукта, энергии, состояния внешней среды или самой машины, а также качества, количества или стоимости производимой продукции, то можно было бы построить график, подобный представленному на рис. 1.16. Для любого другого промежутка времени $t_3 - t_4$, равного $t_1 - t_2$, получился бы график, по виду отличный от первого, что на рисунке показано путем наложения второго графика на первый.

То, что для момента времени t_k , как и для других моментов, невозможно предсказать значение ординаты x_k , вынуждает отнести x_k к разряду случайных величин, а зависимость $x(t)$ считать случайной функцией.

Случайной функцией $X(t)$ называют такую функцию аргумента t , значение которой при любом значении t является случайной величиной X .

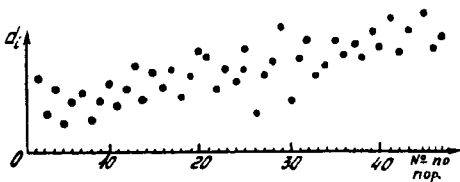
Во многих практических задачах роль аргумента случайной функции играет время. Но не менее часты случаи, когда аргументом случайной функции является какая-то другая непрерывная или дискретная величина (путь S , порядковый номер и т.п.). Условимся обозначать случайные функции через $X(t)$, $Y(S)$ и т.д., а реализации случайных функций через $x(t)$, $y(S)$ и т.д.



Случайную функцию можно рассматривать как бесконечную последовательность значений случайной величины, зависящую от

Рис. 1.16. График случайной функции $x(t)$

Рис. 1.17. Случайная последовательность (точечная диаграмма)



одного или нескольких непрерывно изменяющихся параметров t . Каждому данному значению параметра

(или параметров) t соответствует одно значение $X(t)$ от величины X . Все вместе случайные величины X_t определяют случайную функцию $X(t)$.

Если аргумент случайной функции $X(t)$ может принимать любые значения в заданном интервале (см. рис. 1.16), то в этом случае $X(t)$ обычно называют *случайным процессом*. Если же значения аргумента дискретны, то случайную функцию называют *случайной последовательностью*. Графическое отображение случайной последовательности в технологии машиностроения получило название *точечной диаграммы*.

Примером точечной диаграммы (рис. 1.17) может служить график, на котором точками отражены значения диаметральных размеров d_i одной из шеек валка в том порядке, в котором обрабатывали валы на токарном станке.

Существуют различные способы математического описания случайных функций. Согласно одному из них случайная функция выражается с помощью дифференциального закона распределения значений ее случайных ординат.

Если случайный процесс графически отображается так, как показано на рис. 1.18, то для его характеристики в момент $t = t_k$ было бы достаточно установить закон $f(x_k; t_k)$ распределения ее случайной ординаты x_k . Этот закон отобразил бы для момента t_k вероятность реализации того или иного значения ординаты x_k , но представления о случайном процессе в целом не дал бы.

Для полной характеристики случайной функции при изменении аргумента в области $t_1 - t_n$, если следовать тем же путем, потребовалось бы выявить n -мерный дифференциальный закон $f(x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_n)$ совместного распределения ее случайных ординат.

Хотя в математике и существуют способы построения многомерных законов

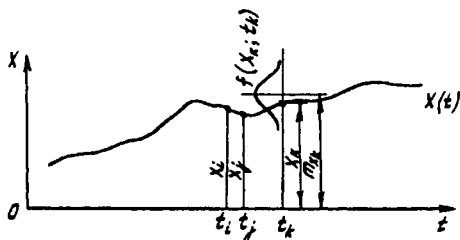


Рис. 1.18. Характеристика случайной функции для момента t_k

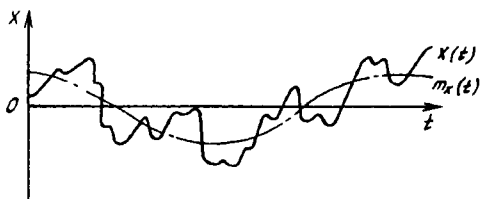


Рис. 1.19. Геометрический смысл математического ожидания $m_x(t)$ случайной функции $x(t)$

распределения, для характеристики случайных функций они все же неудобны вследствие

своей громоздкости. Поэтому вместо самих многомерных законов обычно пользуются их отдельными параметрами. Одним из таких параметров является математическое ожидание.

Математическим ожиданием случайной функции $X(t)$ называют такую функцию $m_x(t)$, значение которой при каждом данном значении аргумента t равно математическому ожиданию значения случайной величины X при этом t :

$$m_x(t) = M[X(t)].$$

Математическое ожидание случайной функции представляет собой некоторую среднюю функцию, около которой группируются и относительно которой колеблются все возможные реализации случайной функции (рис. 1.19):

$$m_x(t) = M[X(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x; t) dx,$$

где $f(x; t)$ — одномерная плотность вероятности.

Мерой рассеяния значения случайной функции является ее дисперсия, характеризующая размах колебания ее ординат.

Дисперсия случайной функции есть такая функция, значение которой при каждом данном значении аргумента равно дисперсии значения случайной величины X при этом значении аргумента. Дисперсия случайной функции

$$\begin{aligned} D_x(t) &= D[X(t)] = M[X(t) - m_x(t)]^2 = \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} [x - m_x(t)]^2 f(x; t) dx. \end{aligned}$$

Математическое ожидание и дисперсия не являются полными характеристиками случайной функции, так как не отражают характера изменения значений случайных ординат во времени. На рис. 1.20 приведены примеры двух случайных функций, имеющих

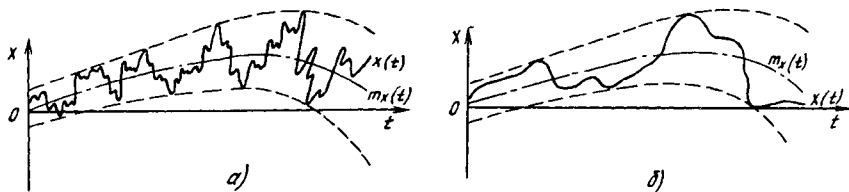


Рис. 1.20. Две случайные функции с равными значениями математических ожиданий и дисперсий, отличающихся интенсивностью изменения во времени значений их ординат

одинаковые математические ожидания и дисперсии. Однако интенсивность изменения значений случайных ординат у них различна. Для того чтобы учесть степень изменчивости случайной функции с изменением аргумента, необходимо определить корреляционные связи между парами ее ординат, например, при значениях аргумента t_i и t_j (см. рис. 1.18).

Корреляционная функция $K_x(t_i, t_j)$ является функцией двух независимых переменных:

$$\begin{aligned}
 K_x(t_i, t_j) &= M\{[X(t_i) - m_x(t_i)][X(t_j) - m_x(t_j)]\} = \\
 &= \int\int_{-\infty}^{+\infty} [x_i - m_x(t_i)][x_j - m_x(t_j)] f(x_i, x_j; t_i, t_j) dx_i dx_j.
 \end{aligned}$$

Случайные процессы и последовательности подразделяют на группы.

Первый признак классификации процессов — деление их на *стационарные* и *нестационарные*. В стационарных процессах остаются постоянными во времени значения математического ожидания и дисперсии случайной функции, а корреляционная функция зависит только от разности моментов выбора ординат случайной функции. Таким образом, для стационарных процессов характерны следующие условия:

$$m_x(t) = \text{const}; \quad D_x(t) = \text{const}; \quad K_x(t_i, t_j) = \varphi(t_i - t_j).$$

Когда значения $m_x(t)$ и $D_x(t)$ вместе или порознь оказываются переменными, процесс становится нестационарным.

Вторым признаком классификации случайных функций является вид законов распределения их случайных ординат. Наиболее часто встречающимся законом распределения является нормальный закон

(закон Гаусса), но может быть и ненормальный закон. В соответствии с этим все случайные функции делят на два типа: *нормальные* (Гауссовы) и *ненормальные* (негауссовы).

Наконец, третьим признаком классификации является зависимость поведения случайной функции от ее значений в предшествующий промежуток времени. Если вероятностные свойства ординат случайной функции в любой следующий момент времени зависят только от значения ординаты в данный момент времени и не зависят от того, какие значения ординат случайная функция имела в прошлом, то такая случайная функция и процесс, представляемый ею, называют *марковскими* по имени А.А. Маркова, впервые рассмотревшего случайные функции такого рода. В противном случае функцию называют *немарковской*.

Итак, процессы могут быть стационарными и нестационарными, нормальными и ненормальными, марковскими и немарковскими. Каждая из этих классификаций является независимой от остальных. Например, стационарный процесс может быть как нормальным, так и ненормальным, марковским и немарковским и т.п. Свойства процесса в основном отражаются его характеристиками.

Наряду с математическим ожиданием и дисперсией случайной функции, используемыми чаще в научных работах, в практике для отображения хода процесса используют и другие характеристики. Эти характеристики, может быть менее строгие в теоретическом отношении, позволяют, однако, с достаточной степенью надежности судить о состоянии процесса.

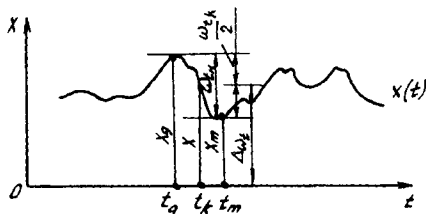
Так, рассеяние значений ординат случайной функции на практике часто характеризуется величиной ω , называемой *мгновенным полем рассеяния*. Известно, что поле ω рассеяния случайной величины X в совокупности случайных величин определяется как разность между ее максимальным и минимальным значениями:

$$\omega = x_{\max} - x_{\min}.$$

Для зафиксированного момента (мгновения) процесса такой совокупности быть не может, поскольку моменту может соответствовать лишь единственное значение случайной величины X . Однако о пределах, в которых может проявиться это значение, можно судить по разности крайних значений ординат, находящихся поблизости от момента t_k процесса. Это позволяет (рис. 1.21) определить ω_{t_k} через разность значений таких ординат:

$$\omega_{t_k} = x_{\max g} - x_{\min m}.$$

Рис. 1.21. Практические характеристики случайной функции для момента t_k



На точечной диаграмме, образующей случайную последовательность, мгновенное поле рассеяния характеризует ширину полосы точек (рис. 1.22, а), в пределах которой наблюдается рассеяние значений x случайных ординат в интервале $a-n$ изменения аргумента. Характеристику ω_t , как и дисперсию случайной функции, следует рассматривать как функцию аргумента t и можно отображать эту функцию соответствующим графиком (рис. 1.22, б).

Положение мгновенного поля рассеяния в зависимости от значений аргумента t могут характеризовать либо среднее $\bar{X}(t)$ значение случайной функции, либо значения ординат $\Delta\omega_t$ середин мгновенных полей рассеяния.

Средним значением случайной функции следует считать такую функцию $\bar{X}(t)$, значения которой равны среднему значению \bar{X} возможных значений случайной величины X при данном значении аргумента t .

Функции m_{x_t} и $\bar{X}(t)$ характеризуют в процессе, протекающем во времени, поведение центра группирования $M(x)$ случайной величины X . Поэтому эти функции можно считать функцией $M(x)_t$ центра группирования, являющейся также функцией аргумента t .

Существуют различные приемы нахождения $\bar{X}(t)$ случайной функции. Один из них основан на использовании средних групповых значений случайной величины.

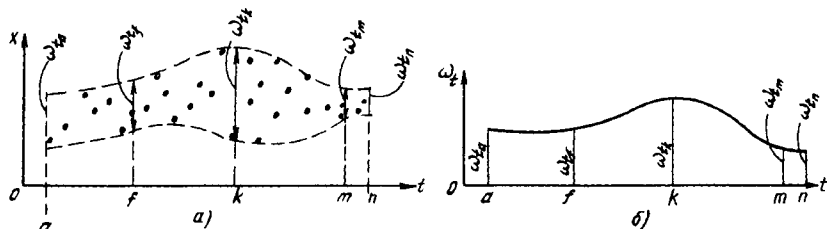


Рис. 1.22. Геометрический смысл понятия "мгновенное поле рассеяния" ω_t : а — точечная диаграмма; б — ω_t как функция аргумента t

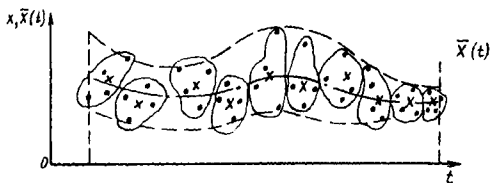


Рис. 1.23. Точечная диаграмма и среднее значение случайной функции

Опираясь на положение теории вероятностей о том, что рассеяние средних

групповых $\bar{X}_{гр}$ значений случайной величины меньше в \sqrt{n} раз рассеяния значений самой случайной величины X , где n — число значений случайных величин, объединенных в группу:

$$\sigma_{\bar{X}_{гр}} = \sigma_x / \sqrt{n},$$

можно значения случайных координат сгруппировать, не нарушая при этом их последовательности по отношению к аргументу t . В каждой из групп (рис. 1.23) среднее значение случайной величины с определенной вероятностью будет характеризовать \bar{X} . Для того чтобы получить представление об $\bar{X}(t)$ случайной функции, необходимо на средних групповых значениях построить плавную кривую таким образом, чтобы они равномерно распределились по обе стороны кривой. Построенная таким образом кривая приблизительно отображает зависимость $\bar{X}(t)$ от t .

При объединении значений случайной величины в группы для нахождения средних групповых значений не следует брать большим число n , к чему, на первый взгляд, склоняет формула с соотношением дисперсий. С увеличением числа n скрадывается изменчивость $\bar{X}(t)$, что, естественно, ухудшает представление о ней. Можно считать достаточным $n = 3...5$ значений.

Другой характеристикой положения мгновенного поля рассеяния ординат случайной функции может служить ордината Δ_{ω_t} его середины, рассматриваемая как функция аргумента t . В примере, приведенном на рис. 1.21, для момента t_k координата середины мгновенного поля рассеяния

$$\Delta_{\omega_{t_k}} = 0,5(x_{\max g} + x_{\min m}).$$

Найденные таким же образом значения Δ_{ω_t} при других значениях аргумента t позволяют построить график и получить наглядное представление об изменениях положения ω_t во времени.

1.6. Символы, используемые в теории вероятности

Величина и ее характеристика	Символ теоретической величины	Символ практического эквивалента
Одномерная случайная величина: количественная оценка случайного события A	$X; \dots$ Вероятность $P(A)$	$X; \dots$ Частость $m(A)$
графическое отображение рассеяния	Теоретическая кривая распределения (дифференциальный закон распределения)	Гистограмма; практическая кривая распределения
характеристики положения центра группирования $M(x)$	Математическое ожидание $M[X] = m_x$	Среднее арифметическое значение \bar{X} , координата середины поля рассеяния $\Delta_{\omega_x}^*$
характеристики рассеяния величины X	Дисперсия $D[X] = D_x$; среднеквадратическое отклонение σ_x	Поле рассеяния ω_x
асимметрия кривой распределения	Коэффициент асимметрии α	
характеристика отклонения от закона нормального распределения	Относительное среднее квадратическое отклонение λ	
Двумерный случайный вектор: составляющие	V (X, Y)	v (x, y)
графическое отображение рассеяния	Эллипс рассеяния	Голограф

Величина и ее характеристика	Символ теоретической величины	Символ практического эквивалента
характеристики положения центра рассеяния	$(M[X], M[Y]); (m_x, m_y)$	(\bar{X}, \bar{Y})
характеристики рассеяния вектора	Дисперсии рассеяния составляющих $D[X]$, $D[Y]$; (D_x, D_y) , главные дисперсии эллипса рассеяния D_1, D_2 , главные средние квадратические отклонения σ_1, σ_2 эллипса рассеяния, угол наклона γ главной оси эллипса рассеяния	Характеристики годографа
корреляционный момент	K_{xy}	K'_{xy}
Случайная функция:	$X(t)$	$x(t)$
характеристики центра группирования	Математическое ожидание $M[X(t)] = m_x$	Среднее значение $\bar{X}(t)$; Координата середины мгновенного поля рассеяния Δ_0
характеристики рассеяния ординат	Дисперсия $D[X(t)] = D_x(t)$	Мгновенное поле ω_t рассеяния
корреляционная функция	$K_x(t_p, t_f)$	$K_x(t_p, t_f)$

* При условии, что значения ординаты Δ_0 середины поля рассеяния или ординаты Δ_{ω_t} середины мгновенного поля рассеяния совпадают со значениями \bar{X} или $\bar{X}(t)$, что может быть лишь при симметричном распределении случайных величин.

Наряду с описанием состояния или хода процесса часто требуется характеризовать его результаты на каком-то отрезке времени вне связи с аргументом t . В подобных задачах значения случайных ординат, потерявшие связь с t , объединяют в совокупность значений случайной величины X . Поэтому для характеристики результатов процесса следует применить положения, относящиеся к случайным величинам.

Для облегчения усвоения символики параграфов 1.3 и 1.4 в табл. 1.6 указаны применяемые символы.

1.5. ПОНЯТИЕ О ТОЧНОСТИ

Вероятностные явления, сопровождающие процесс изготовления машины и ее деталей, вызывают отклонения показателей качества изделий, количества изделий, произведенных в единицу времени, и их стоимости от своих расчетных значений. Между желаемыми и действительными результатами процесса всегда возможно расхождение. Более того, возникшие отклонения могут быть определены (познаны) также с какими-то ошибками, что приводит к искаженному представлению результата, достигнутого в действительности. Таким образом, между расчетными, действительными и познанными значениями показателей качества, количества или стоимости изделий имеются различия как в их существе, так и в количественном отношении. Поэтому различают три вида значения любого показателя:

номинальное или теоретическое, определяемое в результате расчета;

действительное, объективно существующее;

измеренное, т.е. действительное значение, познанное с каким-то отклонением. На рис. 1.24 это положение проиллюстрировано на примере отвлеченного показателя K ; $\Delta K_{\text{изг}}$ и $\Delta K_{\text{изм}}$ — отклонения, возникшие в процессе изготовления и измерения изделия.

Для сопоставления действительного значения показателя с номинальным и измеренного значения с действительным, а также для оценки значений отклонений используют понятия о точности самого показателя и точности его измерения.

Под точностью показателя K понимают степень приближения

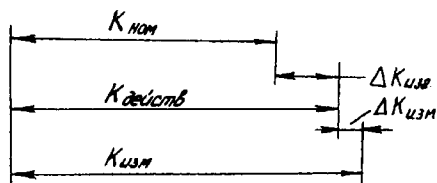


Рис. 1.24. Три вида значений отвлеченного показателя K

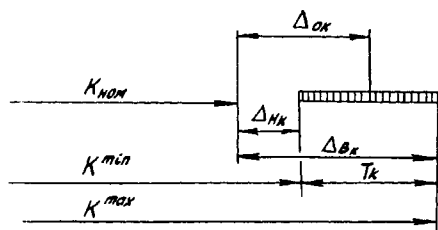
действительного значения показателя к его номинальному значению. Под точностью оценки или измерения показателя K понимают степень приближения познанного значения показателя к его действительному значению.

Если было бы возможно всегда иметь отклонения показателей качества, количества и стоимости производимых изделий равные нулю, то точность этих показателей была бы абсолютной. То же можно сказать и о точности измерения. Однако реальные события препятствуют достижению абсолютной точности. С этим приходится считаться и налагать ограничения на отклонения показателей, при которых создаваемая машина или ее детали не теряют своего качества, а их количество и стоимость будут удовлетворять запросы общества и народного хозяйства.

Границы допустимых отклонений показателя, предопределяемые требованиями к качеству, количеству или стоимости производимых изделий, получили названия *допуска*.

Допуск устанавливают в соответствии с потребностями человека. Задание допуска всегда предшествует осуществлению процесса. Поэтому в качестве допуска не могут быть использованы ни характеристики процесса или его результатов, ни точностные возможности технических средств, применяемых при выполнении процесса, ни что-либо иное, не носящее свойств требования, вытекающего из условий решаемой задачи.

В процессе создания машины приходится иметь дело со скалярными, векторными величинами и др. Свойства величин распространяются на отклонения от их номинальных значений, а следовательно, и на допуски, ограничивающие отклонения. Способ задания допуска должен соответствовать свойству величины. Так, для ограничения отклонений показателя K , являющегося скалярной величиной, допуск задается в виде либо верхнего $\Delta_{вK}$ и нижнего $\Delta_{нK}$ предельных отклонений показателя K , либо поля T_K допуска и координаты Δ_{0K} его середины, либо наибольшего K^{\max} и наименьшего K^{\min} предельных значений показателя.



Принадлежность допуска показателю отмечают индексом, соответствующим обозначению показателя. На рис. 1.25 графически отображены различные

Рис. 1.25. Три способа задания допуска, ограничивающего отклонения показателя K

1.7. Формулы перехода от одной формы задания допуска к другой

Форма задания допуска	Переход к другим формам
$\Delta_{н_к}; \Delta_{в_к}$	$T_K = \Delta_{в_к} - \Delta_{н_к}; \Delta_{0_к} = 0,5(\Delta_{н_к} + \Delta_{в_к});$ $K^{\max} = K_{\text{НОМ}} + \Delta_{н_к}; K^{\min} = K_{\text{НОМ}} + \Delta_{в_к}$
$\Delta_{0_к}, T_K$	$\Delta_{н_к} = \Delta_{0_к} - 0,5T_K; \Delta_{в_к} = \Delta_{0_к} + 0,5T_K;$ $K^{\min} = K_{\text{НОМ}} + \Delta_{0_к} - 0,5T_K; K^{\max} = K_{\text{НОМ}} + \Delta_{0_к} + 0,5T_K$
K^{\min}, K^{\max}	$\Delta_{в_к} = K^{\min} - K_{\text{НОМ}}; \Delta_{н_к} = K^{\max} - K_{\text{НОМ}};$ $T_K = K^{\max} - K^{\min}; \Delta_{0_к} = 0,5(K^{\min} + K^{\max} - 2K_{\text{НОМ}})$

формы ограничения допуском отклонений отвлеченного показателя K . Переход от одной формы к другим может быть сделан по формулам, приведенным в табл. 1.7.

Допуск, ограничивающий отклонения двумерного случайного вектора, может быть задан в виде какой-либо геометрической фигуры, определяющей область, в пределах которой допустимо нахождение конца случайного вектора. Такую фигуру называют *годографом*, ее форма и положение в избранной системе координат диктуются условиями решаемой задачи. В качестве примера на рис. 1.26 дано графическое отображение допуска в виде окружности, ограничивающего отклонения Δ_R случайного вектора R : Δ_{0_R} — допустимое среднее значение R ; $\Delta_{0_{R_x}}, \Delta_{0_{R_y}}$ — допустимые средние значения его проекций. Площадь, ограниченную окружностью, следует считать полем допуска T_R вектора R .

Для ограничения рассеяния трехмерного случайного вектора необходимо выделить часть пространства, размеры и положение которого должны быть определены соответствующей системой величин. По аналогии с этим понятие о допуске можно распространить и на пространство n измерений, указав его границы и их положение в принятой системе отсчета.

Таким образом, более широкое представление понятия о допуске, в сравнении с ныне действующим, приводит к выводу о том, что допуск как ограничение рассеяния отклонений одномерной,

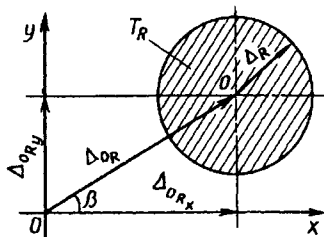


Рис. 1.26. Допуск, ограничивающий отклонения случайного вектора R

дву-, трех-, n -мерной случайной величины нужно задавать системой величин, определяющих границы допустимого рассеяния.

Понятие о точности всегда нуждается в конкретизации того, о какой точности идет речь: требуемой или фактической. Требуемую точность показателей устанавливают в соответствии с условиями решаемой задачи: требованиями к качеству проектируемой машины, ее узлов и деталей, требованиями к точности измерения, к количеству производимой продукции, ее стоимости и т.д. Требование к точности содержится в допуске, которым ограничены возможные отклонения показателя.

Фактическая точность любого показателя конкретного изделия является результатом выполняемого процесса и характеризуется измеренным значением Δ отклонения показателя от его номинального значения. Фактическую точность группы изделий по показателю K , являющемуся скалярной величиной, можно охарактеризовать либо наименьшим Δ_K^{HM} и наибольшим Δ_K^{HB} фактическими отклонениями значения показателя, либо значениями поля рассеяния ω_K и координаты Δ_{ω_K} его середины; либо наименьшим K^{HM} и наибольшим K^{HB} фактическими значениями показателя.

Характеристика фактической точности показателя K будет более полной, если на основании практических данных построить кривую рассеяния, вычислить и дать среднее арифметическое значение отклонений показателя, характеризующее положение центра группирования $M(x)_K$ отклонений, значения коэффициентов α_K и λ_K .

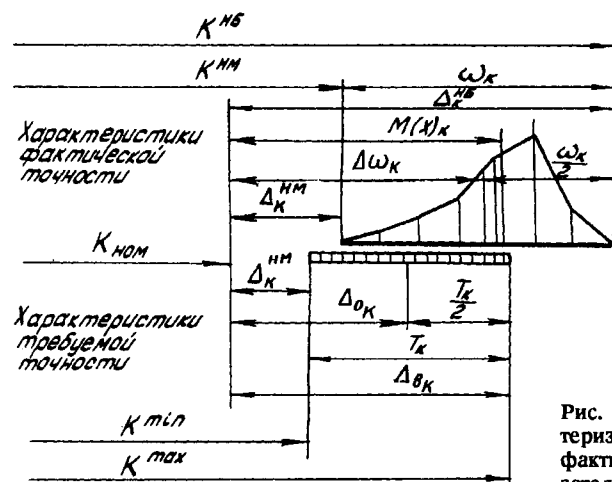


Рис. 1.27. Величины, характеризующие требуемую и фактическую точность показателя K

На рис. 1.27 приведено сопоставление фактической точности показателя K с требуемой. При этом использованы три способа задания допуска и характеристик фактической точности показателя, находящихся в полном соответствии.

Сопоставление фактической и требуемой точности векторной величины может быть проведено наложением границ рассеяния значений вектора на границы допуска, заданного частью n -мерного пространства. На рис. 1.28 такое сопоставление сделано на примере двумерного вектора R . Фактические отклонения вектора рассеиваются в пределах поля ω_R , ограниченного эллипсом рассеяния, центр которого находится на конце среднего вектора \bar{R} ; $\sigma_1, \sigma_2, \gamma$ — характеристики рассеяния вектора. Требуемая точность вектора определена допуском — окружностью радиусом ΔR с центром, расположенным на конце вектора Δ_{0R} . Чтобы обратить внимание читателя на важность различия понятий о требуемой и фактической точности и недопустимость замены одного другим, на рис. 1.28 умышленно представлен случай, когда фактические отклонения выходят за границы допуска. Причиной несоответствия фактической точности требуемой являются несовпадение центра эллипса рассеяния с центром окружности и превышение одним из главных средних квадратических отклонений своего допустимого значения ($6\sigma_1 > 2\Delta R$).

В теоретических разработках, в расчетах при проектировании часто допускают равенство значений характеристик требуемой и фактической точности. Такие допущения законны. Однако знак равенства между значениями эквивалентных характеристик не дает право на замену одну другой. Например, при равенстве значений поля рассеяния ω полю допуска T нельзя считать ω полем допуска и наоборот, ибо это может привести к тяжелейшим идеологическим ошибкам и неправильным практическим выводам. Между характеристиками требуемой и фактической точности существует органическая несовместимость, объясняемая различием их сущности.

На основании изложенного выше можно сделать вывод о том, что заключение о качестве изготовленной машины может быть сделано лишь в результате сопоставления фактической точности

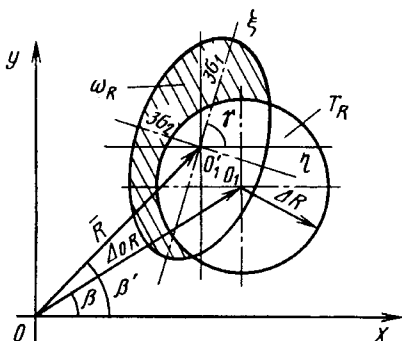


Рис. 1.28. Характеристики требуемой и фактической точности случайного вектора R

всех показателей ее качества с требуемой точностью тех же показателей. Машина считается качественной при полном соответствии фактической точности показателей требуемой их точности. Наоборот, машина не может считаться качественной при наличии несоответствия между фактическим и требуемым качеством хотя бы по одному показателю.

Показатели качества машины (мощность, производительность, надежность, долговечность и др.) обеспечиваются в конструкции машины связями свойств материалов деталей и размерными связями, построение которых составляет конечную цель конструирования машины. Требования к точности показателей этих двух видов связей находятся в функциональной зависимости от требований к точности показателей качества машины. Этим объясняется то, что в практике машиностроения представление о качестве машины часто связывают непосредственно с геометрическим образом машины и ее деталей и со свойствами материалов, из которых детали изготовлены. При таком подходе к оценке качества машины и ее деталей сопоставлять нужно фактическую точность с требуемой точностью показателей размерных связей в машине и показателей свойств материалов деталей.

Свое служебное назначение машина выполняет с помощью ряда поверхностей, получивших название исполнительных. Если в качестве примера взять токарный станок, то к числу его исполнительных поверхностей следует отнести поверхности конических отверстий в шпинделе и пиноли, служащие для установки переднего и заднего центров, поверхности переднего конца шпинделя, предназначенные для определения положения патрона и планшайбы, поверхности резцедержателя, определяющие положение резца, и т.д.

Подходя к характеристике качества машин с чисто геометрических позиций, следует сопоставить фактическую точность с требуемой точностью размеров, относительного положения и формы ее исполнительных поверхностей. Однако характеристика качества машины не будет полной, если ограничиться только исполнительными поверхностями и не охватить другие, также определяющие способность машины выполнять предписанные ей функции. Например, качество токарного станка во многом зависит от прямолинейности направляющих станины, образующих своими поверхностями координатную систему станка, дающих начало отсчета при определении положения большинства его узлов, непосредственно влияющих на точность изготавливаемых на станке деталей, но не являющихся его исполнительными поверхностями.

Оценка точности показателей размерных связей в статическом состоянии машины может дать неполное представление о ее качестве.

Оно обычно дополняется сведениями, получаемыми при испытании машины в движении и под нагрузкой.

Качество детали определяют по соответствию свойств материала, из которого она изготовлена, свойствам, предписанным ее служебным назначением, с одной стороны, и с другой — соответствием геометрического образа детали своему идеальному прототипу.

Состав показателей качества материала детали охватывает химические и физико-механические свойства как самого материала, так и его поверхностных слоев. К таким свойствам относятся химический состав, структурное состояние, тепло- и электропроводность, прочность, упругость, твердость, распределение и знак остаточных напряжений, качество поверхностного слоя и др.

Представление о геометрическом образе детали дают форма и размеры поверхностей, расстояния между ними и их относительное угловое положение. В связи с этим различают три вида показателей, отображающих качество детали с геометрической стороны: размеры поверхностей и расстояния между ними, относительные повороты поверхностей, форма поверхностей. Точность этих показателей, наряду с точностью показателей свойств материала, характеризует качество детали.

Первым видом геометрических характеристик качества детали является точность *размеров* ее поверхностей и *расстояний* между ними. Примером размера поверхности детали может служить диаметр цилиндрической поверхности шейки валика, а расстояния — длина этой поверхности, определяемая расстоянием между плоскими поверхностями, ограничивающими с двух сторон цилиндрическую поверхность.

Вторым видом геометрических характеристик качества детали служит точность *относительного поворота* ее поверхностей. Под точностью поворота понимают отклонение от требуемого углового положения одной поверхности детали относительно другой, взятой за начало отсчета.

Требуемое угловое положение может определяться любым углом, в том числе и углами 0, 90 и 180°. Для обозначения относительного поворота поверхностей, наряду с обозначениями, рекомендуемыми ЕСКД, используют в соответствии с методическими указаниями "цепи размерные" РД50—635—87 одностороннюю стрелку, острие которой направлено на поверхность, избранную в качестве начала отсчета. При углах поворота, отличных от 0, 90 и 180°, указывают номинальное значение угла. На рис. 1.29 приведены примеры обозначения параллельности поверхности *A* детали относительно поверхности *B*, перпендикулярности *B* к *A*, наклон под углом 45° поверхности *Г* к *Б*.

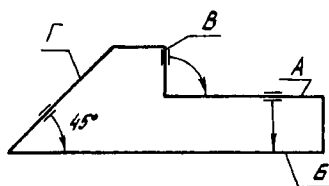


Рис. 1.29. Условные обозначения относительного поворота поверхностей детали

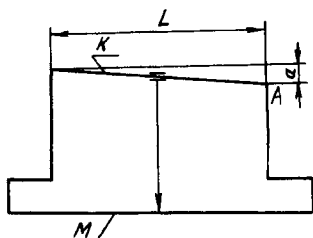


Рис. 1.30. Численная оценка относительного поворота поверхностей детали: отклонение от параллельности поверхности K относительно поверхности M равно a/L

Точность относительного поворота двух поверхностей оценивают либо непосредственно в градусах, минутах, секундах, либо тангенсом угла. В последнем случае отклонение выражается отношением двух линейных величин, в котором числитель есть линейное смещение a точки A поверхности, а знаменатель — длина L , к которой относится это смещение (рис. 1.30).

Исключительную важность в технологии машиностроения представляет правильность избрания и четкость указания начала отсчета относительных поворотов поверхностей детали. Дело в том, что деталь машины обычно ограничена многими поверхностями. Каждая из них выполняет определенные функции и в соответствии с ними должна занимать необходимое угловое положение относительно той поверхности, которая в паре с ней обеспечивает возможность исполнения этих функций. Однако последняя тем же образом может быть связана с третьей поверхностью и т.д. При неизбежности отклонений поворота поверхностей угловая ошибка в положении первой поверхности относительно третьей не будет равна ошибке поворота первой поверхности по отношению ко второй, так как будет представлять сумму двух угловых ошибок. Вот почему требование о "взаимной" параллельности или перпендикулярности нескольких поверхностей детали является абсурдным. По этой же причине следует считать неудачными выражения "взаимное положение", "взаимное расположение" поверхностей детали, получившие, к большому сожалению, широкое распространение.

Третьим видом характеристик качества детали является правильность *геометрической формы* ее поверхностей. Отклонения формы поверхностей детали подразделяют на следующие три вида.

1. Макрогеометрические отклонения, под которыми понимают отклонения реальной поверхности от правильной геометрической формы при рассмотрении этой поверхности в целом (отклонения от плоскостности (рис. 1.31, а), цилиндричности, круглости, прямолинейности и т.п.).

2. Волнистость, представляющую собой периодические неровности поверхности, встречающиеся на участках протяженностью от 1 до 10 мм (рис. 1.31, б).

3. Микрогеометрические отклонения — микронеровности на участках протяженностью до 1 мм, называемые шероховатостью поверхности (рис. 1.31, в).

Указанный способ отнесения отклонений геометрической формы поверхностей деталей к той или иной категории весьма условен. Есть и другой условный способ, согласно которому отклонения формы считают макрогеометрическими при $L/H > 1000$ мм, волнистостью при $L/H = 50 \dots 1000$ мм, шероховатостью при $L/H < 50$ мм.

По ГОСТ 2789—73 установлено шесть параметров шероховатости поверхности. Система этих параметров введена для того, чтобы установить связь между характеристиками микрорельефа поверхностей деталей и их эксплуатационными свойствами. Помимо этих параметров в ГОСТ 2789—73 учтено направление неровностей поверхности. Обозначение шероховатости поверхности регламентировано ГОСТ 2.309—73.

Между значениями отклонений размеров и расстояний, относительных поворотов и формы поверхностей деталей существуют качественные и количественные связи.

Первые из них отражают общую закономерность в соотношениях величин перечисленных отклонений, не затрагивая функциональную зависимость, имеющуюся между ними.

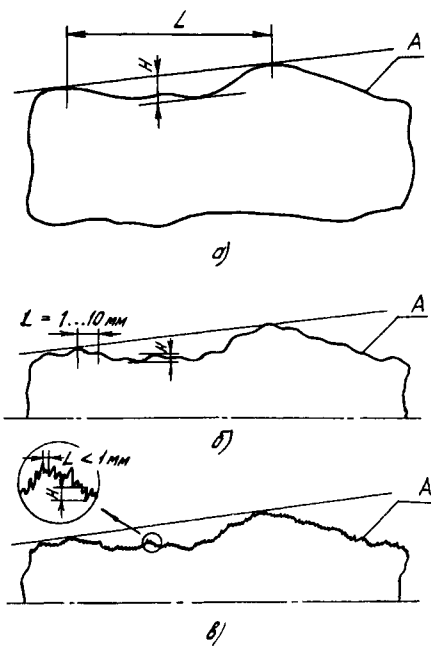


Рис. 1.31. Отклонения формы поверхности детали:
 а — макрогеометрические; б — волнистость; в — микрогеометрические (шероховатость)

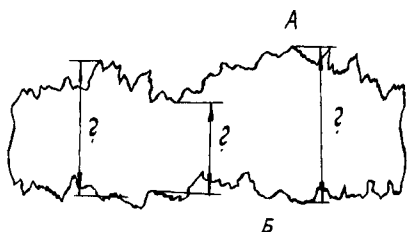


Рис. 1.32. Неопределенность оценки точности детали без соблюдения соотношений между значениями показателей ее точности

Эта закономерность прежде всего проявляется в ограничениях значений отклонений: отклонения относительного поворота должны

быть меньше отклонений размеров поверхностей или расстояний между ними, в свою очередь макрогеометрические отклонения формы должны быть меньше отклонений относительного поворота поверхностей и т.д. Без соблюдения такой закономерности было бы затруднительным оценить значение отклонения показателя более высокого ранга. Действительно, имея микроотклонения, равные по своим значениям макрогеометрическим отклонениям, трудно различить их. Точно так же можно сказать о расстоянии между поверхностями А и Б детали (рис. 1.32) или о параллельности А относительно Б, если отклонения формы этих поверхностей столь значительны?

Качественные связи между отклонениями размеров, расстояний, относительного поворота и формы поверхностей деталей практически учитываются следующим путем.

1. Допуски на отклонения размеров и расстояний поверхностей деталей устанавливаются большими, чем допуски на отклонения относительного поворота поверхностей, которые в свою очередь должны быть больше допусков на макрогеометрические отклонения и т.д.

2. Оценку точности геометрических показателей качества детали начинают с микроотклонений, затем оценивают волнистость, макрогеометрические отклонения поверхностей, их относительный поворот, размеры и расстояния. При этом оценка отклонения показателя более высокого ранга считается возможной при условии, что отклонения нижестоящих показателей не окажут существенного влияния на результат его измерения.

Обобщение производственного опыта в машиностроении привело к созданию нормативных документов, регламентирующих соотношения допусков на отклонения размеров, расстояний, относительного поворота и формы поверхностей деталей. Так, ГОСТ 24643—81 установлено 16 степеней точности формы и относительного положения поверхностей. Числовые значения допусков при переходе от одной степени к другой изменяются с коэффициентом возрастания 1,6. В зависимости от соотношения между допуском на отклонения размера и допуском на отклонения формы или относительного поворота установлены уровни относительной геометрической точности:

A — нормальная точность, при которой допуск формы (относительного поворота) составляет 60 % от допуска на размер, B — повышенная точность с соотношением указанных допусков в 40 % и C — высокая при соотношении допусков в 25 %. Отклонения от цилиндричности и круглости поверхностей ограничиваются допусками, составляющими для A , B и C соответственно 30, 20 и 12 % от допуска на отклонения диаметрального размера поверхности.

Численные соотношения между допусками, ограничивающими отклонения показателей разных видов, приводимые в нормативных документах, являются все же отражением качественных, но не количественных связей между показателями. Количественные связи между отклонениями размеров, расстояний, относительных поворотов и формы поверхностей раскрываются в процессе придания детали необходимого положения в машине или при изготовлении. Именно здесь проявляется функциональная связь между значениями отклонений этих показателей, смысл которой будет раскрыт ниже.

1.6. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИНЫ

Производство машин машиностроительным предприятием осуществляется в результате выполнения *производственного процесса*, под которым понимают совокупность всех этапов, которые проходят исходные продукты на пути их превращения в готовую машину.

Исходные продукты в виде полуфабрикатов машиностроительный завод обычно получает от других заводов. Ими являются различные материалы и изделия, такие как подшипники, электродвигатели, крепежные детали и т.п. Производственный процесс изготовления машины охватывает получение заготовок деталей, различные виды их обработки (механическую, термическую, химическую и др.), контроль качества, транспортирование, хранение на складах, сборку, испытание, регулировку, окраску, отделку и упаковку.

По отношению к объекту производства различные этапы производственного процесса проявляют себя по-разному. Одни из них изменяют его качественное состояние (форму, размеры, структуру и химический состав материала, внешний вид и т.д.). Другие, как, например, транспортирование, контроль, хранение на складах, не оказывают таких воздействий, хотя без них производственный процесс не смог бы быть осуществлен.

Этапы производственного процесса, на протяжении которых происходят качественные изменения объекта производства, называются *технологическими процессами*.

Являясь частями производственного процесса, технологические процессы, в зависимости от содержания, в своем названии получают уточнения. Например, различают технологические процессы изготовления деталей, сборки, окраски машины или технологические процессы получения заготовок, их механической, термической и других видов обработки, сборки отдельных частей машины и машины в целом и др.

Выполнение однородных технологических процессов часто сосредотачивают в отдельных цехах и на участках цехов, специализируя их, например, для производства заготовок, для изготовления различных корпусных деталей и т.п. В других случаях бывает более целесообразным закрепить полностью за цехом или участком технологический процесс изготовления отдельного изделия или какой-то ограниченной номенклатуры изделий. Поскольку выполнению всякого технологического процесса сопутствуют и транспортирование, и контроль качества изделий, и другие виды работ, то, по сути дела, в таких цехах (участках) будут осуществляться свои производственные процессы, составляющие производственный процесс машиностроительного завода. Поэтому можно говорить о производственном процессе и цеха, и отдельного участка.

Технологический процесс выполняют рабочие с помощью технологического оборудования, инструментов и различной технологической оснастки. Как сами рабочие, так и используемые ими технологические средства нуждаются в соответствующем размещении в помещении цеха или участка, другими словами, в выделении рабочего места.

Рабочее место представляет собой часть пространства, предназначенную для выполнения производственного задания одним рабочим или группой рабочих, в которой размещены необходимые производственное оборудование, инструмент, технологическая оснастка и устройства для хранения заготовок и изделий, изготовленных на данном рабочем месте.

Технологический процесс обычно делится на части, называемые операциями.

Операция представляет собой законченную часть технологического процесса, выполняемую на одном рабочем месте.

В организационном смысле операция является наименьшей частью технологического процесса, для которой разрабатывают технологическую документацию и на которую распространяется планирование и учет выпуска продукции.

Необходимость деления технологического процесса на операции порождается двумя причинами — физическими и экономическими. К физическим причинам относятся, например, невозможность обработки заготовки с шести сторон на одном рабочем месте или необходи-

мость разделения предварительной и окончательной механической обработки заготовки, поскольку между ними должна быть проведена термическая обработка, и т.п. Экономическими причинами деления технологического процесса на операции могут быть, например, нецелесообразность создания специального и дорогостоящего станка, позволяющего совмещать на одном рабочем месте проведение многих способов механической обработки. При сборке большого числа одинаковых машин узкая специализация рабочих в выполнении операций обеспечивает высокую производительность труда и позволяет использовать труд низкой квалификации.

Примерами операций могут служить обработка плоских поверхностей заготовки корпусной детали на фрезерном станке или растачивание, зенкерование и развертывание отверстий в той же заготовке на горизонтально-расточном станке. Операциями технологического процесса сборки машины могут быть установка передней бабки токарного станка на станине или проверка положения оси вращения шпинделя относительно направляющих станины и т.п.

Содержание операции определяется многими факторами и, прежде всего, факторами организационного и экономического характера. Диапазон работ, входящих в состав операции, может быть очень широким. Например, операцию может составлять обработка всего лишь одного шпоночного паза в валике на вертикально-фрезерном станке. И в то же время изготовление сложной корпусной детали на автоматической линии, состоящей из нескольких десятков станков, будет являться также операцией.

С тем чтобы иметь возможность представить структуру операции и учесть затраты времени на ее выполнение, потребовалось расчленение операции на отдельные части, названные *переходами*.

По ГОСТ 3.1109—82 технологический переход — это законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке.

Определение этого понятия можно уточнить следующей формулировкой: переход — это законченная часть операции по технологическому воздействию на объект производства или выполнению вспомогательных действий. В соответствии с этим переход, непосредственно связанный с осуществлением технологического воздействия, называют *основным*. Переход, состоящий из действий рабочего или механизмов, необходимых для выполнения основного перехода, называют *вспомогательным*.

Применительно к обработке резанием основной переход представляет собой законченный процесс получения каждой поверхности заготовки (детали) при обработке одним режущим инструментом.

Например, основными переходами будут являться получение поверхности сквозного отверстия в детали при обработке спиральным сверлом, получение плоской поверхности детали фрезерованием и т.п. Последовательная обработка одного и того же отверстия в корпусной детали расточным резцом, зенкером и разверткой будет состоять соответственно из трех основных переходов, поскольку обработка каждым инструментом будет давать новую поверхность. Одновременная обработка трехступенчатого отверстия в корпусной детали блоком резцов будет представлять собой совмещение трех основных переходов, выполняемых с помощью одного комбинированного инструмента, обеспечивающего получение сочетания поверхностей.

Примерами основных переходов в сборочных процессах могут служить работы, связанные с соединением отдельных деталей машины: приданием им требуемого относительного положения, проверкой достигнутого положения и его фиксацией с помощью крепежных деталей. При этом постановку каждой крепежной детали (например, винта) следует рассматривать как отдельный основной переход, а одновременное завинчивание нескольких винтов с помощью многопиндельного винтоверта — как совмещение основных переходов.

К вспомогательным переходам относят такие элементарные действия как установка и закрепление заготовки в приспособлении, смена инструмента, его подвод к заготовке, открепление и снятие заготовки, а в процессе сборки — установка базирующей детали на сборочном стенде или в приспособлении на конвейере, перемещение к ней присоединяемых деталей и т.д.

При изучении затрат времени на выполнение технологического процесса его отдельные части приходится делить на рабочие приемы или просто приемы.

Прием представляет собой законченную совокупность действий, направленных на выполнение перехода или его части и объединенных одним целевым назначением. Например, переход "установить заготовку" состоит из приемов: взять заготовку из тары, переместить к приспособлению, установить в приспособление, закрепить.

Расчленение перехода на отдельные приемы весьма условно и не во всех случаях целесообразно. Например, приемы, связанные с установкой заготовки роботом, удобнее считать самостоятельными переходами и рассматривать их в виде составных частей операции по обработке заготовки. К этому побуждает необходимость дальнейшего членения действий. Например, действие по взятию заготовки из тары складывается из подведения схвата робота к заготовке, придания схвату движения, захвата заготовки и контроля надежности захвата.

Переход применительно к операции механической обработки поверхности заготовки может быть выполнен в результате удаления с нее одного или нескольких слоев материала, снимаемых один за другим одним и тем же инструментом. В первом случае говорят о переходе, выполняемом за один рабочий ход, во втором — за несколько рабочих ходов. Рабочим ходом называют однократное относительное движение инструмента и заготовки, в результате которого с ее поверхности удаляется один слой материала. После выполнения каждого рабочего хода на заготовке образуется новая поверхность. Однако переход будет завершен лишь по осуществлении всех рабочих ходов, необходимых для достижения требуемого результата. Например, переход по обработке шейки вала шлифованием с продольной подачей осуществляется в результате выполнения значительного числа рабочих ходов.

Чтобы иметь возможность обработать заготовку, ее надо установить и закрепить в приспособлении, на столе станка или другом виде оборудования. При сборке то же самое следует проделать с деталью, к которой должны быть присоединены другие детали. Процесс придания требуемого положения и закрепления заготовки, детали в приспособлении, на столе станка и другом виде оборудования получил название *установки*.

В зависимости от конструктивных особенностей изделия и содержания операции последняя может быть выполнена либо с одной, либо с нескольких установок объекта производства. Например, полная обработка заготовки вала на токарном станке может быть осуществлена только с двух установок заготовки в центрах станка, так как, обработав заготовку с одной стороны, ее необходимо открепить, перевернуть и установить в новом положении для обработки с другой стороны.

Для выполнения отдельных частей операции или технологического процесса в целом бывает необходимым перемещение объекта производства в пространстве вместе с приспособлением. Каждое новое фиксированное положение объекта производства совместно с приспособлением, в котором объект установлен и закреплен, называют рабочей позицией или просто *позицией*.

При выполнении каждого перехода, операции и технологического процесса в целом затрачивается то или иное количество труда рабочего соответствующей квалификации. Затраты труда при нормальной интенсивности измеряют его продолжительностью, т.е. временем, в течение которого он расходуется.

Количество времени, затрачиваемого работающим при нормальной интенсивности труда на выполнение технологического процесса или его части, называют *трудоемкостью*. Единицей измерения трудоемкости служит человеко-час.

Для планирования затрат труда в производственном процессе используют норму времени.

Нормой времени называют время, установленное рабочему или группе рабочих соответствующей квалификации на выполнение какой-либо операции или целого технологического процесса в нормальных производственных условиях с нормальной интенсивностью.

Норму времени измеряют в единицах времени (часах, минутах) с указанием квалификации работы, например: 10 ч, 5-го разряда.

При нормировании малотрудоемких операций, измеряемых долями минуты или даже секунды, более осязаемое представление о затратах времени дает норма выработки — величина, обратная норме времени.

Нормой выработки называют устанавливаемое количество изделий, которое должно быть изготовлено в единицу времени (час, минуту). Единицей измерения нормы выработки является число штук изделий, произведенных в единицу времени, с указанием квалификации работы, например, 1200 шт. в 1 ч, работа 3-го разряда.

Изготовление изделия в целом или выполнение отдельной операции занимает определенное календарное время. Отрезок календарного времени, определяющий длительность периодически повторяющейся технологической операции (или изготовления изделия) от начала до ее конца, называют *циклом*.

В соответствии с этим различают: цикл изготовления машины — отрезок календарного времени, начиная от запуска в производство заготовки первой детали до окончания упаковки готовой машины; цикл изготовления детали — отрезок календарного времени от начала первой до окончания последней операции изготовления детали; цикл операции — отрезок календарного времени от начала до конца операции.

Интенсивность производства одинаковых изделий характеризуется тактом выпуска.

Такт выпуска представляет собой промежуток времени, через который периодически осуществляется выпуск машин, их сборочных единиц, деталей или заготовок определенного наименования, типоразмеров и исполнения. Если говорят, что машину изготавливают с тактом 5 мин, это значит, что через каждые 5 мин завод выпускает машину.

Величину, обратную такту выпуска, называют *ритмом выпуска*.

Трудоемкость и цикл изготовления изделий, такт их выпуска, являющиеся показателями производственного и технологического процессов, в соответствии с изложенным в п. 1.5, могут иметь номинальные (расчетные), действительные и измеренные значения.

Например, затраты времени на выполнение операции или технологического процесса в действительности отличаются от своих расчетных значений, каковыми являются норма времени или норма выработки. Действительные значения такта выпуска всегда колеблются относительно его расчетного значения. Измерение этих величин возможно лишь с каким-то приближением к действительным значениям.

Случайный характер действительных и измеренных значений показателей производственного и технологического процессов вынуждает рассматривать их во времени с позиций теории случайных функций.

1.7. ПОНЯТИЕ О ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Под производительностью Q понимают объем W годной продукции, выпущенной в единицу времени t :

$$Q = W/t.$$

Общее понятие о производительности может быть приложено к отдельному станку, труду рабочего, производственному процессу, труду работающих и общественному труду. В каждом из этих направлений понятие о производительности приобретает свою специфическую окраску, а ее значение оказывается зависимым от своего круга факторов.

Производительность станка можно оценивать либо объемом удаленного с заготовки материала, либо площадью обработанной поверхности, отнесенными к единице времени. Производительность станка зависит от его мощности, режимов (скорости резания, подачи), на которых можно обрабатывать заготовки. На производительность станка влияет также качество используемого инструмента.

Производительность труда рабочего измеряется количеством годной продукции, произведенной им за единицу рабочего времени. Так, производительность труда станочника определяют по количеству деталей в штуках, изготовленных им в течение часа или смены.

Производительность труда рабочего зависит от производительности используемого оборудования и удобства управления им, интенсивности и организации труда, условий, в которых рабочему приходится работать.

Производительность станка-автомата измеряют в тех же единицах, что и производительность труда рабочего, поскольку в производстве продукции станок-автомат сочетает в себе функции обычного станка и человека, работающего на нем. Это положение может быть

отнесено к любой автоматической машине, например, к сборочному автомату и т.п.

Одним из показателей эффективности производственной деятельности подразделения завода (цеха, отдельного участка) является *производительность производственного процесса*, осуществляемого им. Значение этого показателя зависит не только от производительности оборудования и труда рабочих, но и от уровня организации, планирования производственного процесса и управления им. Действительно, возможность высокопроизводительных станков и труд рабочих не будут использованы полностью, если на рабочие места не будут доставляться вовремя заготовки, режущий инструмент и необходимая техническая документация, если не будет слаженности в работе всех звеньев подразделения.

Производительность производственного процесса — это интегральный показатель деятельности всего трудового коллектива, непосредственно участвующего в осуществлении производственного процесса. С помощью этого показателя особенно удобно характеризовать эффективность автоматизированного производственного процесса, при выполнении которого непосредственное участие человека минимально, но возрастает роль труда людей, обеспечивающих его функционирование.

Производительность производственного процесса оценивается объемом продукции, измеряемым в штуках, тоннах или рублях, произведенной в единицу времени.

Для отражения деятельности коллектива завода используют понятие — *производительность труда работающих*, показателем которой является количество продукции, выпущенной в единицу времени и приходящейся на одного работающего. Такой показатель охватывает все подразделения завода и его службы. Зависящее, прежде всего, от производительности действующих производственных процессов, значение этого показателя связано с численностью инженерно-технического, управленческого состава и штатов других категорий, а следовательно, и с производительностью труда всех сотрудников предприятия.

Объем продукции, приходящийся на одного работающего, чаще измеряют в рублях, поскольку другую форму учета разнородной продукции завода бывает трудно найти.

Производительность общественного труда оценивают путем сопоставления количества выпущенной продукции за некоторый интервал времени с трудовыми затратами, вложенными в эту продукцию. При этом учитывают затраты прошлого труда, вложенные в создание оборудования, зданий и т.п., текущие затраты овеществленного труда, затрачиваемого на основные и вспомогательные материаль-

лы, электроэнергию, инструменты, топливо, смазочные материалы и т.п., и текущие затраты живого труда.

Выпущенную годную продукцию измеряют либо в физических величинах (штуках, единицах массы, объема и др.), либо в стоимостном выражении (рублях). Суммарные трудовые затраты выражают либо в единицах абстрактного труда (человеко-часах, человеко-днях и др.), либо в денежном выражении (рублях). В соответствии с этим производительность общественного труда может иметь различную размерность: шт./чел.; ч; шт./руб. год; руб./руб. год.

Автоматизация производственных процессов приводит к резкому сокращению в них затрат живого труда и увеличению соответственно доли прошлого труда. Являясь могучим средством повышения производительности живого труда, автоматизация производственных процессов лишь в том случае оправдывает себя, если она обеспечивает сокращение затрат общественного труда и повышает его производительность.

Являясь показателем эффективности станка, труда рабочего, производственного процесса и т.д., производительность может выступать, в смысле своего значения, в одной из трех форм: номинального, действительного и измеренного значений.

1.8. СЕБЕСТОИМОСТЬ МАШИНЫ

Изготовление машины связано с расходами материалов, живого и овеществленного труда. Затраты на материалы, средства производства и заработную плату, связанные с изготовлением машины и выраженные в денежной форме, называют *цеховой себестоимостью*, которую в дальнейшем изложении будем называть просто себестоимостью.

Различают себестоимость машины в целом, себестоимость ее отдельных сборочных единиц и деталей. Можно оценивать себестоимость отдельных операций технологических процессов изготовления деталей или сборки машины, учитывая расходы, связанные только с их выполнением.

Себестоимость

$$C = \sum_{i=1}^p M + \sum_{i=1}^m \left[O + П + И + \left(1 + \frac{a_1 + a_2}{100} \right) 3 \right],$$

где M — расходы на материалы на единицу продукции за вычетом стоимости отходов, руб.; O — расходы на амортизацию, содержание

и эксплуатацию оборудования, приходящиеся на единицу продукции, руб.; P — расходы на амортизацию, содержание и эксплуатацию приспособлений, приходящиеся на единицу продукции, руб.; I — расходы на амортизацию и содержание инструмента, приходящиеся на единицу продукции, руб.; a_1 — начисления на расходы по заработной плате на социальные нужды, %; a_2 — накладные расходы, начисляемые на расходы по заработной плате, %; p — число различных марок материалов, расходуемых на единицу продукции; m — число операций, которые проходит единица продукции при ее изготовлении; Z — расходы на заработную плату, приходящиеся на единицу продукции, руб.

Себестоимость единицы продукции также может выступать в форме номинального, действительного и измеренного значений.

Сметную или плановую себестоимость подсчитывают с целью оценки возможных затрат на изготовление машины, отдельной детали или выполнения операций технологического процесса. Плановая калькуляция необходима для выбора наиболее экономичного варианта технологического процесса или его отдельной операции.

Отчетная калькуляция, т.е. подсчет себестоимости на основе данных о фактических (измеренных) затратах в производственном и технологическом процессах изготовления машины, нужна для оценки ее действительной себестоимости.

Сопоставление отчетной и плановой калькуляций позволяет судить о соответствии действительного технологического процесса изготовления машины запроектированному. Анализ обнаружившихся отклонений в технологии способствует выявлению мероприятий по ее совершенствованию.

Таким образом, себестоимость единицы продукции является основным показателем экономической эффективности производственного и технологического процессов изготовления машины.

1.9. ТИПЫ ПРОИЗВОДСТВА И ВИДЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

В зависимости от потребностей народного хозяйства различные машины изготавливают в разных количествах, определяемых объемом и программой выпуска.

Объем выпуска характеризует примерное количество машин, деталей, заготовок, подлежащих выпуску в течение планируемого периода времени (год, квартал, месяц). Понятие "объем выпуска" используют при проектировании завода, цеха, технологического процесса и т.п.

Программа выпуска — перечень машин, деталей, заготовок с указанием объема выпуска по каждому наименованию на планируемый период времени (год, квартал, месяц). Программу выпуска машин устанавливают в соответствии с планом отрасли, выполнение ее обязательно.

Общее число машин, их деталей или заготовок, подлежащих изготовлению по неизменяемым чертежам, называют *величиной серии*. Размер серии во многом зависит от совершенства конструкции машины и степени соответствия ее запросам потребителей. Переход к новой конструкции машины данного типа связан с изменением ее чертежей и номера серии.

Партией принято называть определенное число заготовок или изделий одного наименования и типоразмера одновременно или непрерывно поступающих для обработки или изготовления на одно рабочее место в течение определенного времени. Понятие о партии может быть распространено и на сборку одинаковых изделий, если они в ограниченном количестве собираются на одном рабочем месте.

Различие объемов выпуска различных машин привело к условному разделению производства на три типа: единичное, серийное и массовое.

Под единичным производством машин, их деталей или заготовок понимают изготовление их, характеризуемое малым объемом выпуска. При этом считают, что выпуск таких же машин, деталей или заготовок не повторится по неизменяемым чертежам. Продукция единичного производства — машины, не имеющие широкого применения (опытные образцы машин, тяжелые прессы, крупные гидротурбины, уникальные металлорежущие станки и т.п.).

Под серийным производством машин, их деталей или заготовок понимают их периодическое изготовление повторяющимися партиями по неизменяемым чертежам в течение продолжительного промежутка календарного времени. Производство изделий осуществляется партиями, при этом возможна партия из одного изделия. В зависимости от объема выпуска этот тип производства делят на мелко-, средне- и крупносерийное. Примерами продукции серийного производства могут служить металлорежущие станки, компрессоры, судовые дизели и т.п., выпускаемые периодически повторяющимися партиями.

Под массовым производством машин, деталей или заготовок понимается их непрерывное изготовление в больших объемах по неизменяемым чертежам продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна и та же операция. Для массового производства характерны узкая номенклатура и большой объем выпуска изделий. Производством массового производства

являются тракторы, автомобили, электродвигатели, холодильники, швейные машины, телевизоры и пр.

Отнесение производства к тому или иному типу определяется не только объемом выпуска, но и особенностями самих изделий. Например, изготовление опытных образцов наручных часов в количестве нескольких тысяч штук будет представлять единичное производство, поскольку повторное изготовление этих же часов не предполагается. В то же время изготовление тяжелых прессов при объеме выпуска менее одной штуки в год можно считать серийным производством, если их выпуск по неизменяемым чертежам будет повторяться.

Об условности деления производств на три типа говорит и то, что обычно на одном и том же заводе, а нередко в одном и том же цехе одни изделия изготавливают единицами, другие — периодически повторяющимися партиями, третьи — непрерывно. Следовательно, на одном и том же заводе, и даже в цехе, могут быть совмещены три типа производств. Поэтому отнесение производства завода или цеха к одному из типов обычно делается по преобладающему типу производства.

Производственные процессы делят на два вида: поточный и непоточный.

Основными свойствами *поточного производства* являются его непрерывность и равномерность. В поточном производстве заготовка по завершении первой операции без задержки передается на вторую операцию, затем — на третью и т.д., а изготовленная деталь сразу же подается на сборку. Таким образом, изготовление деталей и сборка изделий находятся в постоянном движении, причем скорость этого движения подчинена такту выпуска.

При непоточном виде организации производственного процесса движение заготовок, деталей на разных стадиях изготовления прерывается их пролеживанием на рабочих местах или промежуточных складах. Сборку изделий начинают лишь при наличии на складах полных комплектов деталей. В непоточном производстве отсутствует такт выпуска, а производственный процесс регулируется графиком, составленным с учетом плановых сроков и трудоемкости изготовления изделий.

Каждый из видов организации производственных процессов имеет свою область применения. Так поточный вид организации производственного процесса присущ массовому производству, непоточный — единичному и мелкосерийному производствам.

Принципы поточного вида организации производственных процессов часто используют в крупносерийном производстве при изготовлении заготовок, деталей и машин, близких по своему служебному назначению. Последнее обстоятельство позволяет объединять изделия

в группы и вести их изготовление поточными методами с переналадкой оборудования при переходе от изделия одного наименования к изделию другого наименования и переменным тактом выпуска. Такой вид организации производственного процесса получил название *переменно-поточного*.

Контрольные вопросы

1. Понятие о служебном назначении машины.
2. Что понимают под качеством машины? Перечислить показатели качества машины.
3. Что понимают под экономичностью машины? Каков ее количественный показатель?
4. Какими показателями характеризуется состояние процесса?
5. Каковы формы значения любого показателя?
6. Что такое точность?
7. Перечислить показатели требуемой и фактической точности.
8. Каковы показатели качества детали машины?
9. Каковы характеристики геометрической точности детали?
10. В чем различие между производственным и технологическим процессами?
11. Что такое операция технологического процесса?
12. Что такое переход?
13. Можно ли норму времени перевести в норму выработки?
14. Что такое такт выпуска?
15. Что такое производительность и каковы ее формы?
16. С помощью какого показателя можно оценить затраты живого и овеществленного труда, вложенного в изготовление изделия? Какова структура затрат?
17. Что понимают под объемом выпуска изделий?
18. Каковы типы производств и в чем их различие?
19. Каковы виды организации производственных процессов?

СВЯЗИ В МАШИНЕ И ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРОЦЕССЕ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Рассмотрению связей в природе и обществе посвящены специальные разделы философии, кибернетики, механики и других наук. Только благодаря связности явлений или объектов происходит образование и функционирование систем, имеющих различное содержание, наделенных своими, специфическими свойствами. Это положение в полной мере относится и к таким системам как конструкция машины и производственный процесс ее изготовления.

Машину следует рассматривать не как механическое соединение разнообразных деталей и совокупность разрозненных, независимых друг от друга явлений, происходящих в ней, а как связанное, представляющее собой единое целое. Все, что составляет машину (материалы, приданные им формы, размеры, относительное положение) органически связано между собой. Работа машины обеспечивается действием многочисленных связей между явлениями различного физического содержания и только благодаря этому машина производит продукцию.

Производственный процесс реализует требуемые связи в изготавливаемой машине с помощью своих связей между объектами и явлениями, сопровождающими его. Строение связей в производственном процессе предопределяется связями в конструкции изготавливаемой машины и экономическими соображениями, вследствие чего связи производственного процесса имеют строгую направленность и целеустремленность, находясь в зависимости от связей в конструкции изготавливаемой машины.

Таким образом, вопросы связей и связанности самих связей чрезвычайно важны в процессе создания машины, поскольку через их структуру и свойства определяются качество, себестоимость изготавливаемой машины и уровень производительности производственного процесса.

2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ "СВЯЗЬ"

В каждой из отраслей науки понятие "связь" определяется применительно к рассматриваемым задачам и явлениям. Круг явлений, охватываемых технологией машиностроения, очень широк. Это вынуждает определить понятие "связь" в самом общем, философском аспекте.

Связь — это взаимообусловленность существования явлений, разделенных в пространстве и (или) во времени.

Связь между какими-то объектами следует понимать как отношение между ними, при котором наличие (отсутствие) или изменение одних объектов есть условие наличия (отсутствия) или изменения других объектов. Какое-либо общее свойство или признак, делающие возможной связь, принято называть основанием связи.

Примером связей в машине могут служить размерные, кинематические и динамические связи между исполнительными поверхностями токарного станка, с помощью которых станок выполняет свое служебное назначение. Размерные связи в токарном станке необходимы для придания нужного относительного положения в пространстве заготовке и режущему инструменту, кинематические связи — для создания требуемого их относительного движения, динамические связи обеспечивают процесс резания.

Между операциями технологического процесса изготовления детали, как впрочем и на каждой операции, действуют размерные связи, обеспечивающие получение нужных размеров и их точность. Обработка заготовки сопровождается действием временных связей, образуемых затратами времени на выполнение отдельных операций, транспортирование заготовки с операции на операцию и пр.

Ни машина, ни технологический или производственный процесс не смогли бы функционировать, не будь созданы и приведены в действие надлежащие связи различных явлений и объектов. Проектирование машины, технологического и производственного процессов — это, по сути дела, выбор и целенаправленное построение строго определенных систем связей, действие которых и дает желаемый результат: получение качественной продукции.

2.2. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ СВЯЗЕЙ. СМЫСЛ И НАПРАВЛЕНИЕ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧ

Математическое соотношение, отражающее количественную сторону связи явлений или объектов, называют *уравнением связи*.

В общем виде уравнение связи может быть представлено так:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

В различных задачах функция и аргументы уравнения связи могут иметь разный смысл. Это можно видеть из примеров, приведенных в табл. 2.1.

Уравнение связи составляют после изучения и раскрытия физической сущности явлений или отношения объектов, сопутствующих работе машины или осуществлению производственного процесса ее изготовления.

Например, одним из пунктов служебного назначения токарного станка является требование об обеспечении цилиндрической формы обрабатываемой поверхности заготовки. Исследование процесса формообразования при установке заготовки в центрах показало, что для получения цилиндрической поверхности требуется, чтобы ось вращения заготовки была параллельна направлению перемещения резца в двух координатных плоскостях. Отклонение от параллельности в горизонтальной плоскости приведет к образованию конической поверхности (рис. 2.1, а), а в вертикальной — к образованию однополостного гиперболоида вращения (рис. 2.1, б).

2.1. Примеры, раскрывающие смысл функций и аргументов в различных задачах

Задача	y	x_1, x_2, \dots, x_n
Переход от показателя служебного назначения машины к связям	Показатель служебного назначения машины	Показатели какого-то вида связей, обеспечивающие исполнение машиной своего служебного назначения по показателю y
Преобразование связей в машине или производственном процессе	Показатель данного вида связей	Показатели другого вида связи, к которому осуществляет переход (преобразование)
Обеспечение действия связей одного вида	Показатель данного вида связи в машине или производственном процессе	Показатели того же вида, обеспечивающие значение функции y

Рис. 2.1. Возникновение отклонений формы поверхности вала при токарной обработке

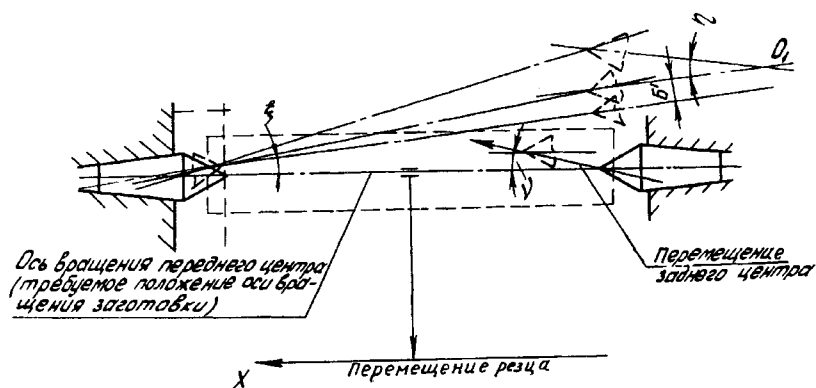
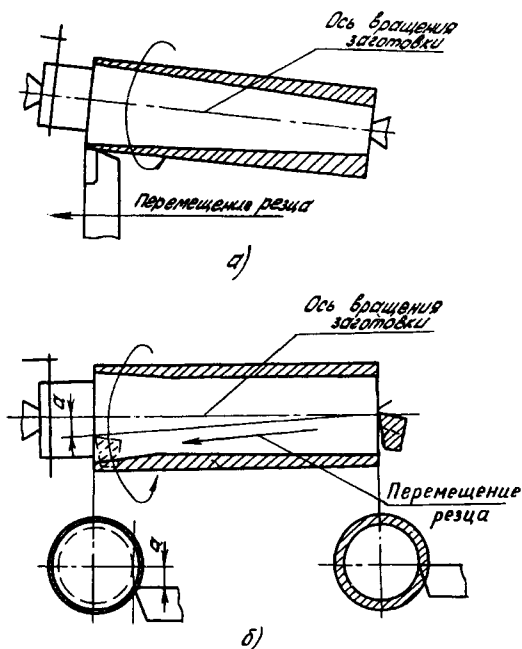


Рис. 2.2. Факторы, вызывающие отклонения от параллельности оси вращения заготовки направлению подачи резца в горизонтальной плоскости

Причинами отклонения от параллельности оси вращения заготовки относительно направления перемещения резца как в горизонтальной (рис. 2.2), так и в вертикальных плоскостях могут быть собственно отклонения ξ и ζ от параллельности общей оси центров станка направлению перемещения резца, смещения B и Γ , повороты η и μ и отклонения v и ρ от параллельности перемещения заднего центра относительно оси переднего центра.

Если условие образования цилиндрической поверхности при обработке заготовки в центрах обозначить через Φ , то в общем виде уравнение связи, отражающее решение данной задачи, будет выглядеть следующим образом:

$$\Phi = f(\xi, \zeta, B, \Gamma, \eta, \mu, v, \rho).$$

В процессе создания машины приходится иметь дело с двумя типами задач: прямыми и обратными.

В прямой задаче значение функции в уравнении связи известно. Оно задано условиями задачи. Решение задачи сводится к переходу от функции к аргументам, т.е. к установлению значений аргументов, удовлетворяющих значению функции. Прямую задачу часто называют проектной (рис. 2.3, а).

Особенностью прямой (проектной) задачи является многовариантность ее решения. Действительно, при наличии единственного уравнения связи и известном значении функции возможно бесчисленное сочетание значений аргументов, соответствующих значению функции. Единственный путь решения прямой задачи — подбор значений аргументов, исходя из значения функции.

Некоторого или даже значительного сокращения числа решений можно достичь, если учитывать соответствующие нормативы (если они есть), ограничивающие выбор значений аргументов, опыт решения подобных задач в прошлом, а также экономическую сторону дела.

Обратная задача имеет противоположное направление решения (рис. 2.3, б), и ее цель — определить значение функции по известным из условия задачи значениям аргументов. Обратную задачу часто называют проверочной, отражая тем самым ее характер и роль. Проверочные

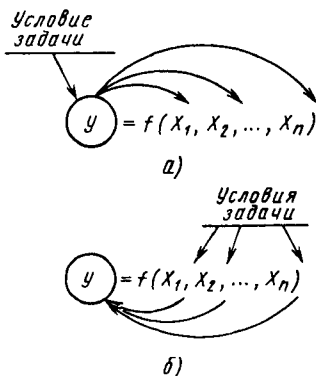


Рис. 2.3. Схемы решения прямой (а) и обратной (б) задач

задачи либо сопутствуют решению проектных задач, возникая при необходимости проверить правильность проектного решения, либо возникают, если надо определить ожидаемый результат на основании предполагаемых или фактических данных о значениях аргументов.

Различие в направленности решения прямой и обратной задач имеет принципиальное значение, поскольку за этим стоит направленность действий в проектировании машины, технологического или производственного процессов и осуществлении последних. Все проектные работы всегда ведут от конечного (желаемого) результата. Их направление противоположно тому, в каком идет процесс изготовления машины. Учитывая принципиальный характер приведенных выше схем, их следует считать алгоритмами решения прямой и обратной задач.

2.3. ОГРАНИЧЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВЯЗЕЙ ДОПУСКАМИ

Вероятностные свойства производственного процесса распространяются не только на все связи, действующие в нем, но и на связи в изготавливаемой машине. Вследствие этого величины x_1, x_2, \dots, x_n имеют отклонения, носящие случайный характер, а их функция y представляет собой функцию случайных аргументов, нуждающихся в ограничении допусками.

Ранее в п. 1.3 были приведены положения теории вероятностей, касающиеся функции случайных аргументов. На основании их можно утверждать, что среднее значение \bar{y} будет функцией средних значений аргументов:

$$\bar{y} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n). \quad (2.1)$$

Для ограничения рассеяния случайных отклонений функции и аргументов полями допусков воспользуемся формулой об их дисперсиях, которую в данном случае удобнее представить в виде зависимости средних квадратических отклонений:

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}_i}^2 \sigma_{x_i}^2 + 2 \sum_{j \neq l}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_j} \right)_{\bar{x}_j} \left(\frac{\partial y}{\partial x_l} \right)_{\bar{x}_l} \sigma_{x_j} \sigma_{x_l} k_{x_{jl}}.$$

Поскольку причин для корреляционной связи между допусками не существует, то для перехода к ним достаточна зависимость

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}_i}^2 \sigma_{x_i}^2.$$

При теоретических расчетах полем допуска T ограничивается рассеяние случайных отклонений, распределенных по нормальному закону, в пределах 6σ . Поэтому

$$T_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}_i}^2 T_{x_i}^2 k_{x_i}^2}, \quad (2.2)$$

где k_{x_i} — коэффициент, учитывающий закон распределения отклонений аргументов через коэффициент λ_{x_i} (см. п. 1.3 и табл. 1.5) и избранный процент риска, обуславливающий выход значений функции y за пределы установленного допуска; $k_{x_i} = \lambda_{x_i} t$; здесь t — коэффициент риска.

При распределении отклонений аргументов по нормальному закону ($\lambda_{x_i} = 1/3$) и риске в 0,27 % ($t = 3$) коэффициент $k_{x_i} = 1$.

Формулы, связывающие как средние значения, так и поля допусков функции и аргументов, являются универсальными и могут быть применены для расчета допусков в связях различных физических величин при решении прямых и обратных задач.

При решении прямой задачи исходными величинами являются среднее значение \bar{y} и значение поля допуска T_y , которыми определены границы отклонений функции. Значения этих величин заданы условиями конструкторской или технологической задачи. Расчет допусков сводится к установлению средних значений аргументов \bar{x}_i , соответствующих \bar{y} , и распределению значения T_y между аргументами с учетом передаточных отношений и квадратического суммирования T_{x_i} .

Так же как и при расчете номиналов, решение прямой задачи в допусках обычно многовариантно. Естественное свойство проектной задачи не должно вызывать робости и недоумения при назначении допусков. Формально всякое решение верно, если в уравнении связи оно обеспечивает соответствие средних значений и полей допусков условиям задачи. Вопрос может быть поставлен лишь в отношении

того, насколько данное решение экономически удачно. Ответ на этот вопрос можно получить только в результате технико-экономического расчета.

При решении обратной задачи известными величинами являются средние значения \bar{x}_i , поля допусков или поля рассеяния ω_{x_i} фактических отклонений аргументов. В состав исходных данных могут входить и значения коэффициентов k_{x_i} . Решение обратной задачи сводится к определению по этим данным соответствующих значений характеристик \bar{y} , T_y или ω_y точности функции. Решение обратной задачи всегда одновариантно и в отношении этих величин.

2.4. СВОЙСТВА СВЯЗЕЙ

Связь в машине или в производственном процессе можно рассматривать как замкнутый контур. Одной частью этого контура является выражение или результат решения данной задачи. Другая часть контура, состоящая не менее чем из двух аргументов, обеспечивает ее решение. Замкнутость связей является одним из важных их свойств.

Контуров связей могут сопрягаться друг с другом, имея общие звенья. При этом можно наблюдать различные случаи таких сопряжений.

1. Две (может и более) связи имеют общие аргументы (рис. 2.4, а). Тогда $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$; $W = \varphi(V_1, V_2, V_3, V_4)$. При этом $V_3 = x_3$; $V_2 = x_4$.

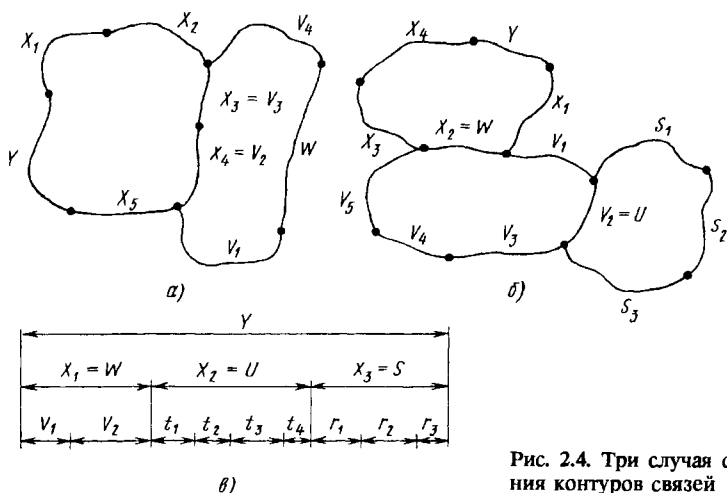


Рис. 2.4. Три случая сопряжения контуров связей

Такой случай сопряжения связей требует совместного решения самостоятельных задач, представленных равноправными функциями, ради обеспечения одинаковых номинальных, средних значений и значений допусков общих аргументов.

В теории размерных цепей такой вид сопряжения связей получил название параллельной связи размерных цепей (см. п. 3.2).

2. Один из аргументов одной связи является функцией другой связи. В свою очередь аргумент другой связи может быть функцией третьей связи и т.д. На рис. 2.4, б представлена схема такого случая:

$$y = F(x_1, x_2, x_3, x_4); \quad x_2 = W = f(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5); \\ V_2 = U = \varphi(S_1, S_2, S_3).$$

Такое сопряжение связей характерно для задач, в которых осуществляется переход от одних связей к другим и их преобразование. Ее особенностью является строгая последовательность решения попарно связанных задач, поскольку исходные данные для решения последующей задачи можно получить, только решив предыдущую.

3. Каждый из аргументов данной связи является функцией какой-то своей связи. Например, на рис. 2.4, в представлен случай, когда

$$y = f(x_1, x_2, x_3),$$

где

$$x_1 = W = \varphi_1(V_1, V_2); \quad x_2 = U = \varphi_2(t_1, t_2, t_3, t_4); \\ x_3 = S = \varphi_3(r_1, r_2, r_3).$$

Отличие этого случая от предыдущего заключается в том, что здесь раскрывается содержание не отдельного аргумента, а детализируется вся функция в целом.

Свойство сопряжения (связности) связей играет большую роль в создании машины.

По своей сути проектирование машины — это последовательный переход от связей, с помощью которых машина выполняет свое служебное назначение, к связям свойств материалов и размерным связям, составляющим ее конструкцию. Этот переход сопровождается многократными преобразованиями связей, их детализациями и прочими операциями над ними, что в конечном счете и создает конструкцию машины предписанного назначения.

Производственный процесс изготовления машины представляет собой проявление различного вида связей. Связи производственного процесса можно распределить по уровням. Так, к связям высшего

уровня можно отнести связи свойств материалов, размерные, информационные, временные и экономические, т.е. те связи, за счет непосредственного действия которых создаются детали машины, осуществляется ее сборка и определяются ее качество и себестоимость.

Связи более низкого уровня обеспечивают действие связей более высокого уровня. Например, размерные связи в технологическом процессе изготовления детали создаются с помощью кинематических связей, последние обеспечиваются действием либо механических, либо гидравлических, либо каких-то других связей, создающих необходимые относительные движения инструментов и заготовки. Однако для приведения этих связей в действие необходимы энергетические связи, без наличия которых движение невозможно.

Таким образом, и в производственном процессе изготовления машины идет преобразование связей, их переход из одного вида в другой. И только за счет этого производственный процесс функционирует.

Связи в машине и производственном процессе ее изготовления многообразны, но неразрознены. И в одном, и в другом они соединены и органически увязаны между собой в системы. Переплетения, разветвления, пересечения связей очень сложны. Поэтому понятны трудности, возникающие при построении систем связей и управлении ими. И тем не менее системы связей, составляющие машину и производственный процесс, создаются человеком, его знаниями и трудом. Понятно, что качество этих систем, экономическая целесообразность их структуры и выбора реализующих средств зависят прежде всего от квалификации их создателей.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под связью между явлениями и объектами?
2. Как количественно отражается связь между явлениями и объектами?
3. В чем смысл и направление решения прямой и обратной задач?
4. Как ограничиваются отклонения показателей связей допусками?
5. Как связи могут сопрягаться друг с другом?

Размерные связи играют большую роль в создании машины и в процессе ее функционирования. Их круг широк. Однако в данной главе рассмотрение размерных связей будет ограничено их разновидностью, называемой размерными цепями. Характерной особенностью размерных цепей является то, что их количественную сторону отображают линейные уравнения.

Размерные цепи возникают при решении разнообразных конструкторских, технологических и измерительных задач. Разработкой теории размерных цепей занимались многие ученые. Однако автором этой теории признан Заслуженный деятель науки и техники РСФСР д-р техн. наук проф. Б.С. Балакшин, опубликовавший в 1933 и 1934 годах научные работы, в которых описаны принципиальные положения теории размерных цепей. Терминология и основные положения теории размерных цепей изложены в Методических указаниях "Цепи размерные" РД 50—635—87.

Поскольку размерные цепи возникают в результате выбора баз и базирования, то изложению теории размерных цепей должно предшествовать ознакомление читателя с основами базирования.

3.1. ОСНОВЫ БАЗИРОВАНИЯ

Задачи определения положения детали в машине и в процессе ее контроля, заготовки при обработке на станке или их базирование занимают центральное место в процессе создания машины. От того, как они решены, во многом зависит качество деталей и машины в целом.

Вопросам базирования и в нашей стране, и за рубежом уделено большое внимание и посвящено немало специальных научных трудов. Большой вклад в разработку теории базирования внесен

учеными Б.С. Балакшиным, А.И. Кашириным, В.М. Кованом, А.А. Маталиным, А.П. Соколовским, В.П. Фираго и многими другими.

Теорию базирования разрабатывали в двух направлениях. Первое из них преследовало цель обобщения опыта машиностроения и классификации баз в соответствии с терминологией, порожденной практикой. Результатом этого направления явилась чрезвычайно обширная и недостаточно строгая терминология, пользование которой было сопряжено с немалыми трудностями. Основу другого научного направления составила теоретическая механика, ее раздел об определении положения твердого тела в пространстве. Основоположителем этого направления был Б.С. Балакшин, разработавший в 40-х годах теорию базирования, положенную в основу ГОСТ 21495—76 "Базирование и базы в машиностроении", созданного под его руководством. Надежная теоретическая основа позволила существенно ограничить терминологию в теории базирования и обеспечить ее стройность.

Чтобы читателю была понятна теоретическая подоплека теории базирования, ее изложение целесообразно начать с положений теоретической механики, на которые опирается теория базирования.

Теоретическая механика рассматривает два состояния твердого тела: покоя и движения. Понятия "покоя" и "движения" являются относительными и имеют смысл только тогда, когда указана система отсчета. Если положение тела относительно выбранной системы отсчета со временем не изменяется, то считается, что это тело покоится относительно данной системы отсчета. Если же во времени тело изменяет свое положение относительно избранной системы отсчета, это означает, что тело находится в состоянии движения относительно данной системы отсчета.

Требуемое положение или движение твердого тела относительно выбранной системы отсчета достигается наложением геометрических или кинематических связей.

Связями в теоретической механике называют условия, которые налагают ограничения либо только на положение, либо также и на скорость точек тела. В первом случае связь называют геометрической, во втором — кинематической.

Связи обычно осуществляются в виде различных тел, стесняющих свободу движения данного тела. Эффект действия связей такой же, как и действие сил, вследствие чего действие связей можно заменить соответствующими силами, называемыми *реакциями связей*. Направление реакции связи совпадает с тем направлением, в котором связь препятствует перемещению тела.

Независимые перемещения, которые может иметь тело, называют *степенями свободы*. Абсолютно твердое тело имеет шесть степеней свободы. Для того чтобы придать телу необходимое положение и

состояние покоя относительно выбранной системы отсчета, его надо лишить шести степеней свободы, наложив на него шесть двусторонних геометрических связей.

Если избрать в качестве системы отсчета прямоугольную систему координат $OXYZ$ (рис. 3.1), то при наложении шести геометрических связей 1 — 6 тело лишится трех перемещений вдоль осей OX , OY и OZ и трех поворотов вокруг осей, параллельных им, оставаясь неподвижным в системе $OXYZ$.

Аналитическое определение требуемого положения абсолютно твердого тела сводится к заданию значений шести независимых параметров, однозначно характеризующих его положение. Сделано это может быть различными способами.

По одному из них с телом связывают неизменно прямоугольную систему координат $O_1X_1Y_1Z_1$, называемую подвижной. Ее положение в системе $OXYZ$ характеризуют координаты x, y, z начала O_1 и три угла Эйлера: θ — угол нутации, ψ — угол прецессии и φ — угол собственного вращения системы $O_1X_1Y_1Z_1$. По значениям этих параметров судят о положении как системы $O_1X_1Y_1Z_1$ так и самого тела относительно системы $OXYZ$, являющейся системой отсчета.

Положение подвижной системы координат и самого тела будет также определено, если выбрать на плоскости $X_1O_1Y_1$ три точки, не лежащие на прямой линии, на $X_1O_1Z_1$ — две, на $Y_1O_1Z_1$ — одну и задать значения их координат (рис. 3.2). Поскольку параметру $x, y, z, \theta, \psi, \varphi$ аналитически связаны со значениями координат этих шести точек, то такой способ характеристики положения тела в системе $OXYZ$ будет равнозначен изложенному выше. Из восемнадцати

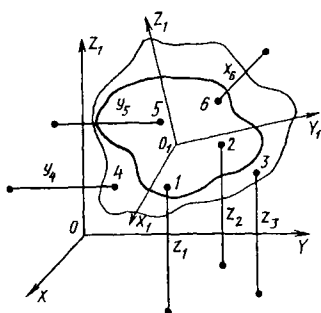
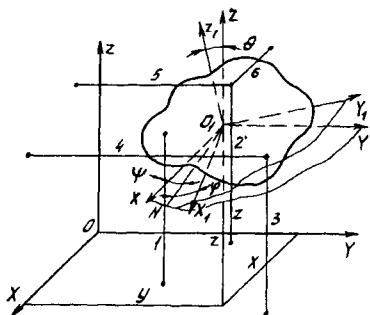


Рис. 3.1. Геометрические связи и координаты, определяющие положение твердого тела в системе $OXYZ$

Рис. 3.2. Определение положения твердого тела с использованием координат шести точек, размещенных на плоскостях подвижной системы $O_1X_1Y_1Z_1$

координат, определяющих положение шести точек, шесть $(z_1, z_2, z_3, y_4, y_5, x_6)$ будут независимыми. Неизменность их значений есть условие действия шести геометрических связей, наложенных на тело.

Тело находится в неподвижном состоянии, если выполняются два условия:

сумма всех активных сил, действующих на тело, и реакций равна нулю;

в начальный момент скорость тела также равна нулю.

Таким образом, придание телу необходимого положения в избранной системе координат и наложение на него геометрических связей заключается не только в достижении заданных значений параметров, характеризующих его положение, но и в переводе тела в тот же момент в состояние покоя с помощью системы сил, обеспечивающих его равновесие и фиксирующих приданное телу положение.

Если в избранной системе отсчета требуется создать движение тела с определенной скоростью в одном или нескольких направлениях, то соответствующее число геометрических связей должно быть заменено таким же числом кинематических связей.

Базирование и базы

Под *базированием* в машиностроении понимают придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

Под изделием подразумевают деталь, сборочную единицу, а также режущий и измерительный инструмент, приспособления, приборы и другие объекты, допускающие их представление как абсолютно твердых тел. Имея в виду широкое приложение понятия "Базирование" к различным объектам, изложим его существо применительно к заготовкам и деталям, что несколько не снижает общности рассматриваемых положений.

Придание детали требуемого положения в избранной системе координат осуществляется в реальной ситуации путем соприкосновения ее поверхностей с поверхностями детали или деталей, на которые ее устанавливают или с которыми ее соединяют. Фиксация достигнутого положения и постоянство контакта обеспечиваются силами, в числе которых первым проявляется действие массы самой детали и сил трения.

Реальные детали машин ограничены поверхностями, имеющими отклонения формы от своего идеального прототипа. Поэтому базируемая деталь может контактировать с деталями, определяющими ее положение лишь на отдельных элементарных площадках, условно считаемых *точками контакта*.

Возможность допущения такой условности подтверждают выводы о фактической площади контакта деталей, сделанные учеными, изучающими трение и изнашивание. Например, проф. И.М. Крагельский установил, что фактическая площадь контакта деталей по плоским поверхностям находится на уровне 1 % от их геометрической площади. По данным проф. Ш.М. Билика, это соотношение составляет 0,01 %.

В общем случае при сопряжении детали по трем поверхностям с деталями, базирующимися ее, возникает шесть точек контакта. При этом на контактирующих поверхностях точки контакта распределяются определенным образом.

На рис. 3.3 показана деталь типа прямоугольного параллелепипеда, установленная в "угол", образованный базирующими деталями. Шесть точек контакта распределились на поверхностях детали (соответственно и на поверхностях деталей, на которые она установлена) следующим образом: три точки контакта на нижней поверхности детали, две на боковой поверхности наибольшей протяженности и одна на торцевой поверхности. Такому распределению и местоположению точек контакта способствовали выбор места приложения и соотношений сил N_1 , N_2 и N_3 , сделанный в стремлении обеспечить равновесие детали. Направление действия силы N_1 оказалось внутри треугольника, образованного точками контакта 1, 2 и 3, а силы N_2 — между точками контакта 4 и 5.

Таким образом, наложение на деталь шести геометрических связей и определение ее положения относительно деталей, на которые она установлена, в реальной жизни осуществляется через точки контакта. Более того, шесть точек контакта материализуют подвижную систему координат $O_1X_1Y_1Z_1$, связанную через них как с базирuемой, так и базирующими деталями. Действительно, зная координаты точек контакта 1, 2 и 3,

можно построить на них координатную плоскость $X_1O_1Y_1$. Перпендикулярно к ней и на точках контакта 4 и 5 может быть построена координатная плоскость $X_1O_1Z_1$. Положение третьей координатной плоскости $Y_1O_1Z_1$ будет также определено, если она пройдет через точку

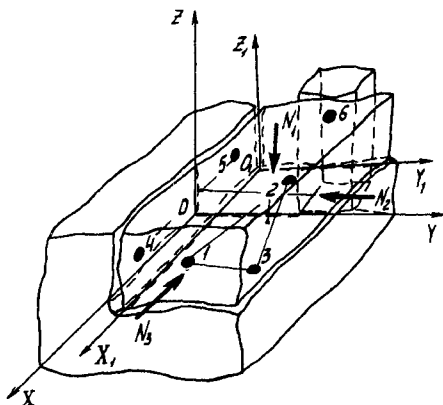
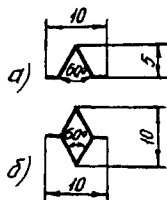


Рис. 3.3. Сопряжение реальных деталей по трем номинально плоским поверхностям

Рис. 3.4. Условное обозначение опорной точки:
 а — на виде спереди и сбоку; б — на виде сверху



контакта b и одновременно будет перпендикулярной к плоскостям $X_1O_1Y_1$ и $X_1O_1Z_1$.

Положение базируемой детали в системе $OXYZ$ полностью отражает положение системы $O_1X_1Y_1Z_1$, на которую, как и на деталь, наложены шесть связей в виде условий: $z_1, z_2, z_3, y_4, y_5, x_6 = \text{const}$.

Из рассмотренного примера видно, что базирование детали было осуществлено с помощью нескольких ее поверхностей — баз.

Базой называют поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования.

Для наложения на деталь шести связей с целью определения ее положения в системе $OXYZ$ и придания ей состояния покоя потребовались три базы, образовавшие подвижную систему $O_1X_1Y_1Z_1$. Совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или изделия, называют *комплексом баз*.

В рассмотренном примере система $O_1X_1Y_1Z_1$ была построена на точках контакта базируемой детали с деталями, на которые она установлена. При идеализации геометрической формы поверхностей баз считается, что контакт деталей происходит полностью по сопрягающимся поверхностям. И тогда за координатные плоскости принимают поверхности баз, а наличие связей, наложенных на них, отображается опорными точками, носящими теоретический характер.

Опорная точка — это символ одной из связей заготовки или изделия с выбранной системой координат. Условное изображение опорной точки показано на рис. 3.4.

Все опорные точки на схеме базирования нумеруют порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагают наибольшее число опорных точек. Число проекций детали на схеме базирования должно быть достаточным для четкого представления о размещении опорных точек. При наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую, изображают одну точку и около нее проставляют номера совмещенных точек.

На рис. 3.5 пример, приведенный на рис. 3.3, дан в другой интерпретации: детали сопрягаются по идеально плоским поверхностям, координатные плоскости системы $O_1X_1Y_1Z_1$ образованы самими базами. Здесь же показана схема базирования устанавливаемой детали.

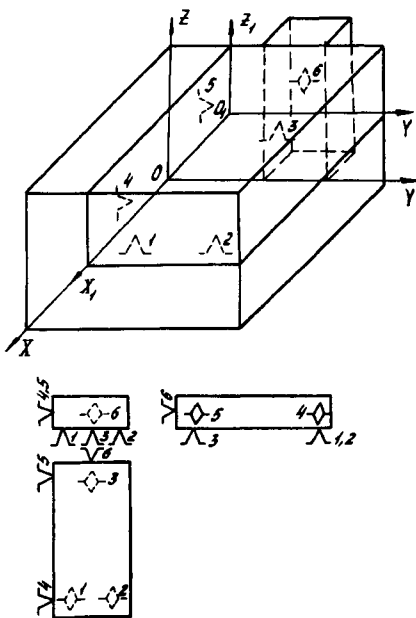


Рис. 3.5. Идеализированное представление о сопряжении деталей по плоским поверхностям

Рассмотрим случай, когда деталь типа плитки лежит неподвижно на плоской поверхности базирующей детали (рис. 3.6). То, что деталь занимает вполне определенное положение в системе $OXYZ$ и находится в состоянии покоя, дает основание утверждать, что она лишена шести степеней свободы и на нее наложены шесть связей. Однако деталь контактирует с основанием лишь в трех точках, а ее неподвижность обеспечивается силами трения.

Анализируя условия контакта реальных деталей, следует отметить, что в общем случае мы

имеем дело не с идеальными связями, а со связями с трением, которые, кроме нормальных реакций, дают еще реакции, лежащие в касательных плоскостях. Связи с трением активно проявляют себя в процессе базирования деталей и при определенных соотношениях внешних сил и сил трения могут лишать деталь подвижности и обеспечивать определенность ее положения в рассматриваемой

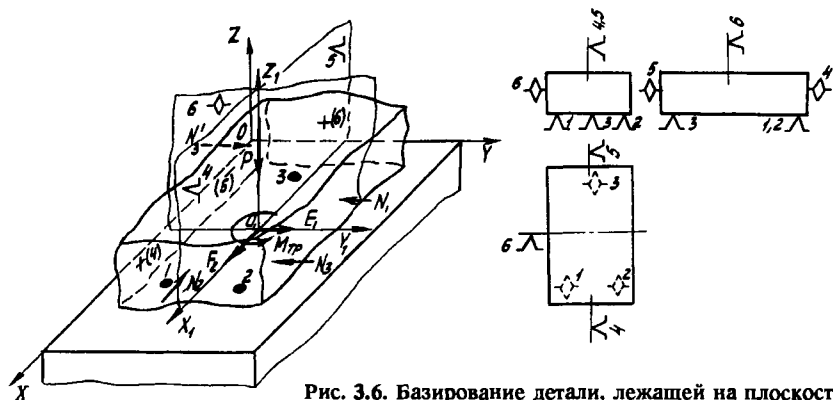


Рис. 3.6. Базирование детали, лежащей на плоскости

системе координат. Действительно, в примере, приведенном на рис. 3.6, наличие шести связей, наложенных на деталь, будет очевидным при соблюдении следующих условий:

$$\begin{aligned} z_1, z_2, z_3 &= \text{const}; \\ y_{(4)}, y_{(5)} &= \text{const, если } F_1 > N_1 \text{ и } M_{\text{тр}} > M_{\text{вн}}; \\ x_{(6)} &= \text{const, если } F_2 > N_2, \end{aligned}$$

где $N_1, N_2, M_{\text{вн}}$ — соответственно внешние силы и момент, создаваемый парой сил N_3 и N_3' ; $F_1, F_2, M_{\text{тр}}$ — соответственно силы и момент трения.

При этих условиях деталь занимает вполне определенное положение в системе $OXYZ$, и оно может быть характеризовано конкретными значениями соответствующих параметров.

Понятие об определенности положения детали не следует смешивать с понятием о точности ее положения. Детали или заготовке может быть придано положение, которое будет соответствовать условиям решаемой задачи, а может и не соответствовать им. К тому же, допуски, ограничивающие отклонения в положении заготовки или детали, в одних задачах могут быть весьма широкими, в других — жесткими. Например, при установке в трехкулачковом патроне заготовки из прутка ей может быть придано любое угловое положение в пределах 360° относительно ее оси. Однако то угловое положение заготовки, которое будет случайно избрано и зафиксировано, окажется вполне определенным в системе трехкулачкового патрона, так как на заготовку будет наложена связь. Точно так же положение плитки, установленной на магнитной плите на глаз, будет вполне определенным, хотя может и не соответствовать требованиям к точности ее установки.

Для того чтобы в примере, приведенном на рис. 3.6, отобразить действие всех шести связей, необходимо с деталью связать подвижную систему координат $O_1X_1Y_1Z_1$. Координатную плоскость $X_1O_1Y_1$ следует построить в данном случае на точках контакта 1, 2 и 3. В качестве координатных плоскостей $X_1O_1Z_1$ и $Y_1O_1Z_1$ удобно использовать плоскости симметрии детали и на них разместить опорные точки, символизирующие действие остальных трех связей. На рис. 3.6 приведена также схема базирования детали, на которой опорные точки, проставленные на координатных плоскостях $X_1O_1Z_1$ и $Y_1O_1Z_1$, вынесены за пределы изображения детали.

Классификация баз

Несмотря на разнообразие задач по базированию, оказалось возможным ограничиться тремя признаками при классификации баз: по назначению, по лишаемым степеням свободы и по характеру проявления.

Классификация баз по назначению. Базирование необходимо на всех стадиях создания изделия: при конструировании и рассмотрении его в сборе, при изготовлении и измерении. Отсюда вытекает необходимость разделения баз по назначению на три вида: конструкторские, технологические и измерительные.

Конструкторской называют базу, используемую для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. Группу конструкторских баз составляют основные и вспомогательные базы (рис. 3.7).

Основной называют конструкторскую базу, принадлежащую данной детали или сборочной единице и используемую для определения их положения в изделии.

Вспомогательной называют конструкторскую базу, принадлежащую данной детали или сборочной единице и используемую для определения положения присоединяемого к ним изделия (детали или сборочной единицы).

Из определения понятий основной и вспомогательной баз видно различие их функций. С помощью комплекта основных баз

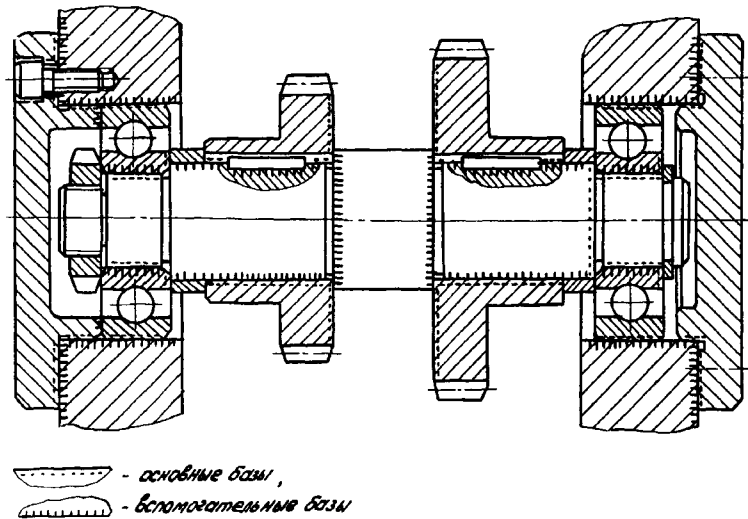


Рис. 3.7. Основные и вспомогательные базы деталей

определяют положение самой детали в машине или в сборочной единице. С помощью комплекта вспомогательных баз определяют положение относительно данной детали присоединяемой к ней детали или сборочной единицы. Различие ролей основных и вспомогательных баз необходимо учитывать как при конструировании (выборе конструктивных форм поверхностей деталей, задании их относительного положения, протановке размеров, разработке норм точности и т.д.), так и в технологическом процессе изготовления детали и в процессе измерения.

Можно заметить, что любая деталь может иметь только один комплект основных баз и столько комплектов вспомогательных баз, сколько деталей или сборочных единиц к ней присоединяется.

Технологической называют базу, используемую для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта. Понятие технологической базы распространяется на все стадии процесса изготовления изделия (на изготовление детали механической обработкой, на сборку изделия и т.д.).

Измерительной называют базу, используемую для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения. Измерительные базы необходимы во всех случаях измерений (при оценке точности детали, в процессе настройки станков и т.д.).

Классификация баз по назначению не допускает совмещения названий баз в рамках этого признака. Например, нельзя технологическую базу назвать основной или вспомогательной. Хотя в качестве технологических могут быть использованы и основные, и вспомогательные базы. То же относится к измерительным базам.

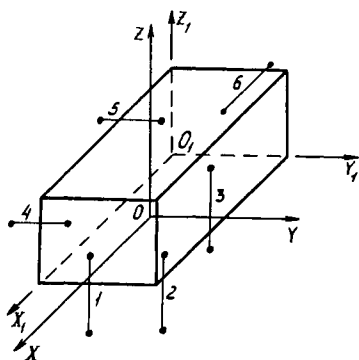
Классификация баз по лишаемым степеням свободы. Законы базирования являются общими для всех стадий создания изделий. Поэтому независимо от назначения базы различают в зависимости от их участия в наложении связей на базируемые заготовки, детали или сборочные единицы.

Комплект баз может быть образован сочетанием поверхностей разных размеров и конструктивных форм (плоских, цилиндрических, конических и др.), и распределение шести связей между ними может быть различным. С точки зрения числа и свойств воспринимаемых связей база может быть установочной, направляющей, опорной, двойной направляющей или двойной опорной.

Установочной называют базу, используемую для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их трех степеней свободы — перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей.

Например, если деталь призматическая (рис. 3.8), роль установочной базы выполняет нижняя поверхность, использованная для

Рис. 3.8. Наложение шести связей на призматическую деталь



наложения трех связей, лишаящих деталь возможности перемещаться в направлении оси OZ и поворачиваться вокруг осей, параллельных OX и OY .

Направляющей называют базу, используемую для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их двух степеней свободы — перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси.

Для детали призматической формы — это боковая поверхность детали, наложение через которую двух связей на деталь лишило ее возможности перемещения в направлении оси OY и поворота вокруг оси, параллельной OZ .

Опорной называют базу, используемую для наложения на заготовку или изделие связи, лишаящей их одной степени свободы — перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси.

В данном случае в качестве опорной базы использована одна из торцовых поверхностей детали. Через эту поверхность у детали отнята возможность перемещения в направлении оси OX .

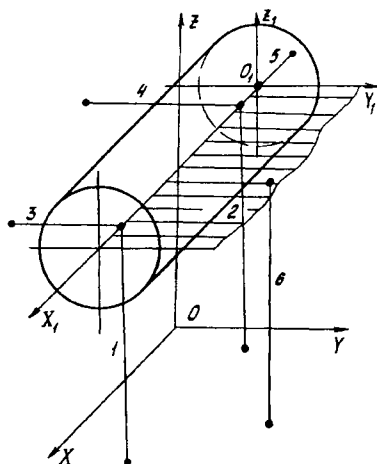
Комплект баз, в состав которого входит установочная, направляющая и опорная базы, представляет собой подвижную систему координат $O_1X_1Y_1Z_1$, на которую наложены те же связи, что и на деталь: три связи — на координатную плоскость $X_1O_1Y_1$, две — на $X_1O_1Z_1$ и одна — на $Y_1O_1Z_1$. Данный комплект баз является весьма распространенным и может считаться типовым.

Если базирование детали или заготовки осуществляется с использованием цилиндрической (конической) поверхности большой протяженности (соотношение ее длины и диаметра больше единицы), то с помощью этой поверхности на деталь или заготовку можно наложить четыре связи. Такая база получила название двойной направляющей.

Двойной направляющей называют базу, используемую для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их четырех степеней свободы — перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг осей, параллельных им.

Наложение связей на деталь или заготовку с помощью цилиндрической (конической) поверхности чаще всего осуществляется через

Рис. 3.9. Наложение шести связей на цилиндрическую деталь



ось (рис. 3.9), относительно которой она образована вращением образующей прямой. Это может служить основанием для совмещения с этой осью оси O_1X_1 подвижной системы $O_1X_1Y_1Z_1$. Рассматривая ось O_1X_1 как пересечение координатных плоскостей $X_1O_1Y_1$ и $X_1O_1Z_1$, две связи (1 и 2) из четырех, наложенных на ось, можно отнести к координатной плоскости $X_1O_1Y_1$, две (3 и 4) — к $X_1O_1Z_1$. Эти связи отбирают у детали возможность перемещаться вдоль и вращаться вокруг осей, параллельных OY и OZ . Перемещения детали вдоль оси O_1X_1 может лишить связь 5, наложенная на торец детали и координатную плоскость $Y_1O_1Z_1$, совмещенную с ним. Угловое положение детали будет определено, если на координатную плоскость $X_1O_1Y_1$ наложить дополнительно связь 6. Последние две связи реализуются при помощи двух опорных баз, одна из которых отбирает у детали возможность перемещения, другая — поворота.

Комплект из двойной направляющей и двух опорных баз широко распространен и может считаться также типовым.

Часты случаи, когда двойную направляющую базу образует сочетание двух цилиндрических или конических поверхностей небольшой протяженности (рис. 3.10). Роль двойной направляющей могут выполнять две опорные шейки вала (рис. 3.10, а), по кото-

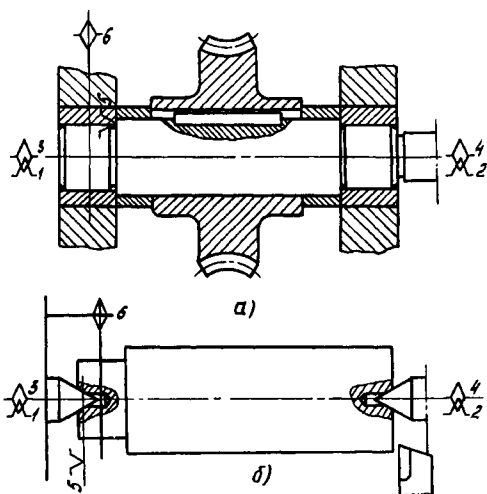


Рис. 3.10. Реализация двойной направляющей базы сочетанием двух поверхностей:

а — опорными шейками вала; б — центровыми отверстиями в заготовке

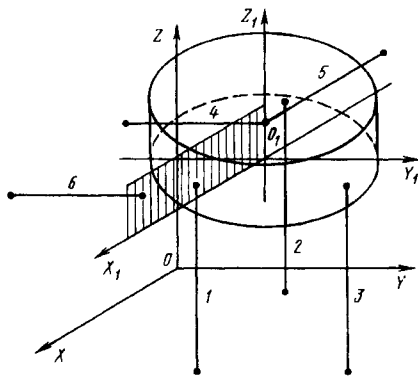


Рис. 3.11. Наложение шести связей на деталь типа диска

рым его базируют на подшипниках в корпусе, во втором — конические отверстия (рис. 3.10, б), с помощью которых заготовку вала устанавливают в центрах на токарном станке.

Положение детали типа диска будет более устойчивым, если установить его на торец и сделать торец установочной базой (рис. 3.11). Тогда с торцом ока-

жется совмещенной координатная плоскость $X_1O_1Y_1$, на которую будут наложены три связи, присущие установочной базе. Две связи (4 и 5), лишаящие диск возможности перемещения в направлении осей OX и OY , целесообразно в данном случае наложить на ось цилиндрической поверхности, совместив с нею координатную ось O_1Z_1 . Две связи, наложенные на ось, следует рассматривать относящимися соответственно к координатным плоскостям $X_1O_1Z_1$ и $Y_1O_1Z_1$. Для того чтобы лишить диск возможности поворота вокруг оси O_1Z_1 , необходимо наложить связь 6 на координатную плоскость $X_1O_1Z_1$, создав тем самым опорную базу.

В данном случае ось цилиндрической поверхности детали была использована как база для лишения детали двух перемещений. Такая база получила название двойной опорной.

Двойной опорной называют базу, используемую для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их двух степеней свободы — перемещений вдоль двух координатных осей.

В отличие от направляющей базы, с помощью которой деталь лишается одного перемещения и одного поворота, двойную опорную базу используют для лишения детали двух перемещений.

Комплект из установочной, двойной опорной и опорной баз следует считать третьим типовым комплектом баз.

Классификация баз по характеру проявления. Третий признак классификации, независимо от первых двух, дает разделение баз на скрытые и явные.

Скрытой называют базу в виде воображаемой плоскости, оси или точки.

Явной называют базу в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

К скрытым базам прибегают, когда требуется определить положение детали или заготовки с использованием плоскостей симметрии, оси или пересечения осей. С такими случаями мы уже встречались (см. рис. 3.6, 3.9—3.11), где в роли скрытых баз выступали плоскости, оси, пересечения осей координатной системы, связываемой с деталью.

Наложение связей на скрытые базы может быть осуществлено либо на глаз, либо с помощью специальных технических средств. В первом случае человек, оценивая положение воображаемых координатных плоскостей относительно системы отсчета, придает нужное положение детали или заготовке. Таким примером может служить установка заготовки (плитки) на магнитной плите плоскошлифовального станка, производимая на глаз. Для повышения точности базирования могут быть применены измерительные приборы или инструменты.

В других случаях базирование по скрытым базам с надлежащей точностью может быть выполнено лишь с помощью специальных средств (центров на токарном станке, самоцентрирующих патрона и тисков и т.д.). На рис. 3.12 показано базирование рычага по двум его плоскостям симметрии, осуществленное с помощью одновременно сходящихся призм. Положение координатной плоскости $X_1O_1Z_1$ рычага определено призмами, а плоскости $Y_1O_1Z_1$ — устройством, одновременно сводящим призмы. При этом наложение связей (опорные точки 4, 5 и 6) на обе координатные плоскости осуществляется в момент контакта рычага с призмами в четырех точках.

Таким образом, базирование по скрытым базам с применением технических средств может осуществляться также через контакт

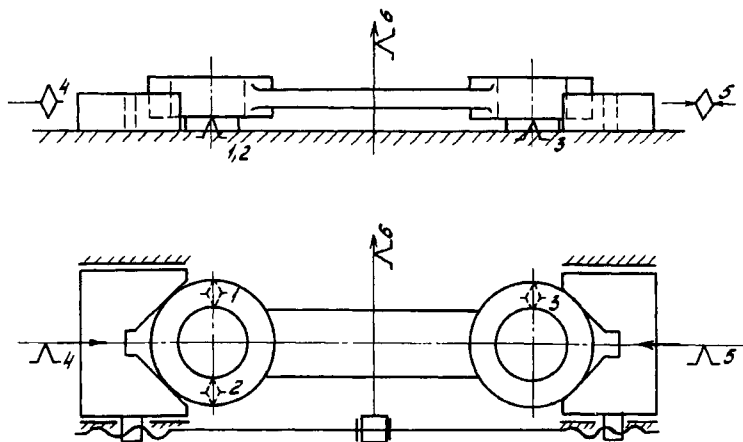


Рис. 3.12. Базирование рычага

базируемой детали с базирующими деталями по реальным поверхностям. Однако наложение связей на координатные плоскости реализуется в этих случаях не непосредственно через точки контакта, как это было при базировании по явным базам (см. рис. 3.3), а при участии их и в функциональной связи с ними.

Следует отметить, что при построении системы координат $O_1X_1Y_1Z_1$ на типовых комплектах баз (см. рис. 3.8, 3.9, 3.11) в каждом случае был использован свой подход. Несмотря на это, во всех случаях на координатную плоскость $X_1O_1Y_1$ оказались наложенными три связи, на плоскость $X_1O_1Z_1$ — две и на $Y_1O_1Z_1$ — одна связь. Одинаковое распределение связей между одноименными координатными плоскостями не является случайным и имеет значение при выдвигании требований к относительному положению баз, составляющих комплект.

Для того чтобы при построении в общем случае системы $OXYZ$ на любом комплекте баз распределение связей между координатными плоскостями было бы всегда идентичным, следует придерживаться некоторых правил. Одну из координатных плоскостей, принимаемую за начало отсчета (рекомендуется XOY), необходимо связать с базами таким образом, чтобы она была лишена одного перемещения и двух поворотов, другая (XOZ) — была перпендикулярна к XOY и лишена одного перемещения и одного поворота, третья (YOZ) — была перпендикулярна к XOY и XOZ и лишена одного перемещения.

Роль баз, как координатных систем, чрезвычайно важна в обеспечении качества создаваемой машины. Вполне понятно поэтому значение правильности построения и увязки их относительного положения в конструкции машины и технологическом процессе ее изготовления.

На рис. 3.13 приведена схема классификации баз по трем признакам. Согласно этой схеме полное название базы должно охватывать в принятой очередности три классификационных признака. Так, базы, определяющие положение вала, показанного на рис. 3.10, *a*, имеют следующие названия: конструкторская основная, двойная направляющая, скрытая; конструкторская основная, опорная, явная; конструкторская основная, опорная, скрытая. Положение рычага в примере, приведенном на рис. 3.12, определяют базы: технологическая, установочная, явная; технологическая, направляющая, скрытая; технологическая, опорная, скрытая.

Ради упрощения из названия баз часто опускают слова "конструкторская" и "явная", имея в виду, если база основная или вспомогательная, то само собой разумеется, что она конструкторская, и если база не скрытая, то она явная. Допускаются и краткие названия баз, отражающие только те классификационные признаки, которые

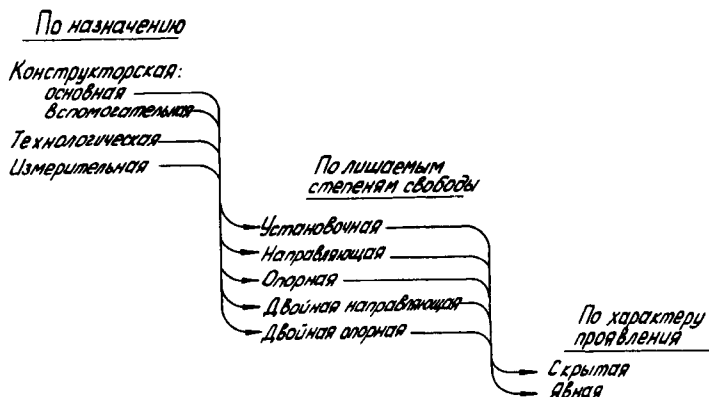


Рис. 3.13. Классификация баз

представляют интерес в данный момент времени: основная установочная база; технологическая база; двойная опорная скрытая база и т.п.

Практика показывает, что регламентированная ГОСТ 21495—76 классификация баз вполне достаточна для решения разнообразнейших задач по базированию в области конструирования и изготовления машин. Поэтому следует избегать введения дополнительных названий баз, только усложнившего бы работу конструкторов и технологов.

Рекомендации к решению задач по базированию

Освоение теории базирования до уровня свободного пользования ею при решении задач сопряжено с определенными трудностями. Приобретению навыков в базировании могут способствовать следующие рекомендации.

Прежде всего необходимо осмыслить основные теоретические положения и добиться ясности представления существа базирования, роли связей, налагаемых на объект базирования при определении его положения, и их реализации, усвоить основные понятия, которыми оперируют в теории базирования. Очень важным является прочное удерживание в памяти классификации баз, их названий в соответствии с классификационными признаками, а также трех типовых схем базирования и комплектов баз. Необходимо иметь в виду, что навыки по базированию приобретаются через самостоятельное и вдумчивое решение разнообразных задач, о количестве которых лишь можно сказать: чем больше, тем лучше.

Все конструкторские, технологические и метрологические задачи по базированию можно подразделить на два типа:

анализ принятой схемы базирования детали в конструкции изделия, технологическом процессе его изготовления или при измерении; разработка схемы базирования в соответствии с возникшей задачей на каком-либо этапе создания машины.

При решении задач первого типа необходимо:

из условий задачи выявить назначение баз и систему координат, относительно которой осуществлено базирование;

выявить состав поверхностей детали, заготовки и т.п., участвующих в базировании;

проанализировать функции, выполняемые этими поверхностями в базировании, мысленно сопоставить найденные базы с типовыми комплектами и установить соответствие с одним из них;

определить названия найденных баз, используя свои знания о типовых комплектах баз и их классификации;

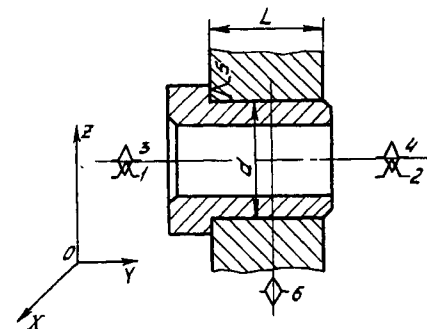
показать теоретическую схему базирования на эскизе или чертеже.

Задача: выявить схему базирования втулки в корпусе (рис. 3.14).

Поскольку задача касается определения положений самой детали в какой-то сборочной единице, то речь может идти лишь о конструкторских основных базах. Пусть $OXYZ$ будет являться системой отсчета.

В базировании втулки участвуют ее цилиндрическая поверхность при соотношении $L/d > 1$ и плоская торцовая поверхность. Такому сочетанию баз соответствует типовый комплект, в состав которого входят двойная направляющая и две опорные базы. Двойная направляющая база лишает деталь возможности перемещаться в направлении осей OX и OZ и поворачиваться вокруг осей, параллельных им. Одна из опорных баз (торец) удерживает деталь от перемещения вдоль оси OY , вторая лишает возможности вращения вокруг оси цилиндрической поверхности.

По характеру проявления двойная направляющая база будет скрытой, первая опорная — явной и вторая опорная — скрытой. Таким образом, в состав комплекта основных баз, с помощью которых определено положение втулки в корпусе, входят двойная направляющая скрытая, опорная и опорная скрытая базы.



При нанесении схемы базирования на эскиз опорные точки 1—4, обозначающие двойную направляющую базу, надо проставить на оси цилиндрической поверхности вне детали, поскольку это скрытая база, отобразив условными знаками направление действия связей. Опорная точка 5 должна своим острием быть направлена от корпуса на торец втулки и символизировать опору. Опорная точка 6 должна быть расположена вне детали в плоскости, проходящей через ось цилиндрической поверхности.

Рис. 3.14. Базирование втулки в корпусе

Рис. 3.15. Базирование плитки, обеспечивающее получение размеров, заданных чертежом

При разработке схем базирования необходимо:

из условий задачи выяснить назначение комплекта баз и систему координат, относительно которой необходимо придать детали, заготовке и т.п. требуемое положение;

выявить состав связей, которые необходимо создать в соответствии с условиями решаемой задачи;

разработать конструктивные формы поверхностей баз (при конструировании) или выявить поверхности (при решении технологических или измерительных задач), позволяющие осуществить базирование и решить поставленную задачу;

определить состав комплекта баз и их названия, обратившись к типовым комплектам и классификации баз;

нанести теоретическую схему базирования на чертеж или эскиз.

Задача: профрезеровать уступ у детали типа плитки (рис. 3.15); выдержать размеры a , b и параллельность поверхностей уступа относительно поверхностей A и B .

Решается технологическая задача и потому положение заготовки должно быть определено в системе координат $OXYZ$ фрезерного станка.

Для того чтобы получить размер a и обеспечить параллельность горизонтальной поверхности уступа относительно поверхности A необходимо, используя поверхность A , придать заготовке нужное положение относительно плоскости XOY , лишив заготовку перемещения в направлении оси OZ и поворота вокруг осей, параллельных осям OX и OY .

Для получения размера b и параллельности вертикальной поверхности уступа относительно поверхности B необходимо на заготовку через поверхность B наложить две связи, лишив ее возможности перемещаться в направлении оси OY и поворачиваться вокруг оси OZ . Перемещения вдоль оси OX заготовку может лишить опора в ее торце.

Такую комбинацию связей дает типовой комплект баз, имеющий в своем составе установочную, направляющую и опорную базы. Все базы будут явными.

Итак, задача может быть решена с помощью технологических установочной, направляющей и опорной баз. Следует обратить внимание на то, что в качестве установочной и направляющей баз оказались использованными именно те поверхности, относительно которых было задано положение обрабатываемых поверхностей.

Теоретическую схему базирования следует показать так, как это сделано на рис. 3.15.

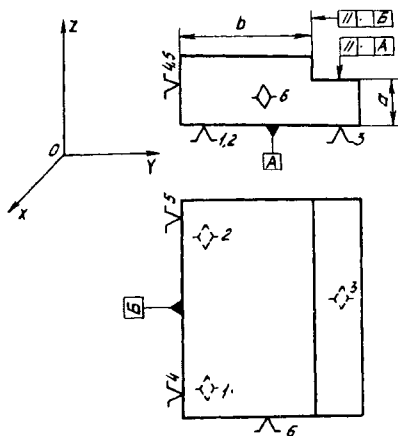
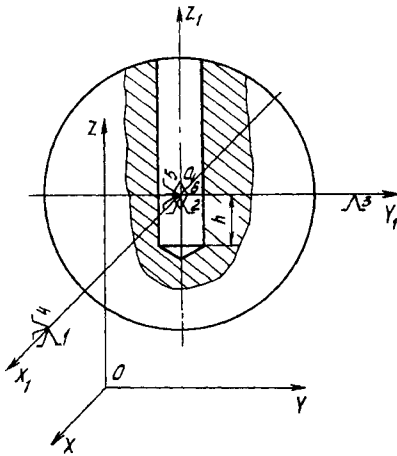


Рис. 3.16. Базирование шара, обеспечивающее соблюдение условий задачи



В рассмотренной задаче в процессе выбора баз не было необходимости в построении подвижной системы координат. Это объясняется тем, что оказалось возможным решить задачу с помощью комплекта явных баз, непосредственно образующих координатную систему $O_1X_1Y_1Z_1$. При использовании скрытых баз разработка схемы базирования детали или заготовки не может обойтись без построения этой системы координат.

Задача: просверлить отверстие в шаре так, чтобы ось отверстия проходила через центр шара, а глубина отверстия от центра шара была бы равной h (рис. 3.16).

Условия задачи обязывают взять центр шара за начало отсчета, совместить с ним начало подвижной системы $O_1X_1Y_1Z_1$ и наложить на него три связи, лишające шар перемещений в направлении трех координатных осей.

Поворотов вокруг осей O_1X_1 и O_1Y_1 шар будет лишен, если на каждую из них наложить по одной связи. Наконец, чтобы отнять у шара возможность вращения вокруг оси O_1Z_1 , необходимо на ось O_1X_1 наложить еще одну связь, но направленную на плоскость $X_1O_1Z_1$.

Проанализировав распределение связей между координатными плоскостями, нетрудно прийти к выводу о том, что шар оказался забазированным с помощью установочной (опорные точки 1, 2 и 3), направляющей (опорные точки 4 и 5) и опорной (опорная точка 6) скрытых баз. Разработать теоретическую схему базирования шара удалось в данном случае через наложение необходимых связей на координатные плоскости системы, связанной с шаром в соответствии с условиями поставленной задачи. И только в результате этого удалось выявить базы, составляющие комплект.

3.2. ТЕОРИЯ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Размерные цепи отражают объективные размерные связи в конструкции машины, в технологических процессах изготовления ее деталей и сборки, при измерении, возникающие в соответствии с условиями решаемых задач.

Свойства и закономерности размерных цепей отражаются системой понятий и аналитическими зависимостями, позволяющими рассчитывать номинальные размеры и обеспечивать наиболее экономичным путем точность изделий при конструировании, изготовлении, ремонте и во время эксплуатации.

Основные понятия и определения

Размерной цепью называют совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур.

Из определения этого понятия следует, что размерную цепь образует замкнутый контур не любых размеров, а только тех размеров, которые непосредственно участвуют в решении задачи. Например, если поставлена задача обеспечить зазор между зубчатым колесом и торцом проставочного кольца, то только размеры, нанесенные на чертеж (рис. 3.17), участвуют в обеспечении необходимого зазора и никакие другие размеры (например, ширина корпусной детали).

Размерные цепи принято обозначать прописными буквами русского алфавита (A, B, \dots), если они образованы линейными размерами, и строчными буквами греческого алфавита β, γ, \dots (кроме букв $\alpha, \delta, \epsilon, \lambda, \omega$), если их составляют угловые размеры.

Размеры, образующие размерную цепь, называют *звеньями размерной цепи*. Так, все размеры, образующие размерную цепь A на рис. 3.17, являются ее звеньями.

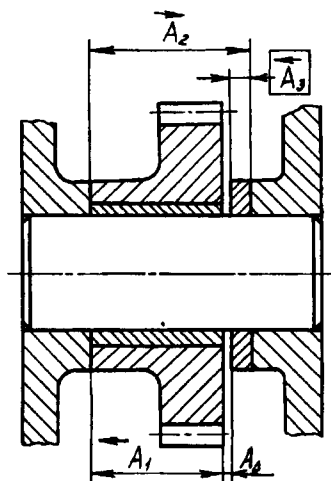
На схемах размерных цепей звенья условно обозначаются: линейные размеры — двусторонними стрелками, угловые размеры — односторонними стрелками с направлением острия к базе (см. рис. 1.29, 1.30). Для обозначения звеньев размерных цепей используют те же буквы, что и для обозначения самих размерных цепей, с добавлением ответствующих индексов.

В любой размерной цепи одно из звеньев является замыкающим, все остальные — составляющие звенья.

Замыкающим называют звено размерной цепи, являющееся исходным при постановке задачи или получающееся следним в результате ее решения.

В замыкающем звене заключен смысл решаемой задачи независимо от того, является задача прямой или обратной. Задача — обеспечить зазор между зубчатым колесом и торцом кольца (см. рис. 3.17). Поэтому зазор в этой задаче будет являться замыкающим звеном, поскольку именно он нас интересует.

Рис. 3.17. Конструкторская размерная цепь, определяющая зазор A_{Δ}



В процессе проектирования, при разработке технологического процесса изготовления механизма все действия по обеспечению зазора будут исходить от его заданного значения. Однако свойства зазора, как замыкающего звена, сохраняются и тогда, когда он будет получен последним в размерной цепи в результате сборки механизма.

В обозначении замыкающее звено отличается от составляющих индексом Δ .

Составляющим звеном называют звено размерной цепи, функционально связанное с замыкающим звеном.

Обозначается составляющее звено той же буквой, что и сама размерная цепь, с индексом, соответствующим порядковому номеру составляющего звена.

С точки зрения влияния на значение замыкающего звена составляющие звенья подразделяются на увеличивающие и уменьшающие.

Увеличивающим называют составляющее звено размерной цепи, с увеличением которого замыкающее звено увеличивается (звено A_2).

Уменьшающим называют составляющее звено размерной цепи, с увеличением которого замыкающее звено уменьшается (звенья A_1 и A_3).

Обозначают увеличивающее звено стрелкой над буквой, обозначающей звено, направленной вправо, уменьшающее звено — стрелкой, направленной влево.

Устранение на замыкающем звене отклонения, излишнего против допустимого, может быть проведено путем изменения одного из составляющих звеньев, называемого *компенсирующим*. Для отличия от других звеньев буквенное обозначение компенсирующего звена заключают в прямоугольную рамку (звено A_3).

В зависимости от характера решаемых задач размерные цепи подразделяют на конструкторские, технологические и измерительные.

Конструкторской называют размерную цепь, определяющую расстояние или относительный поворот поверхностей или осей поверхностей в изделии.

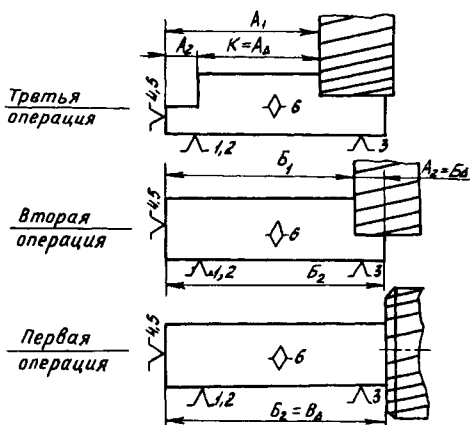
Примером конструкторской размерной цепи может служить размерная цепь A , показанная на рис. 3.17.

Технологической называют размерную цепь, обеспечивающую требуемое расстояние или относительный поворот поверхностей изделия в процессе его изготовления.

Технологические размерные цепи возникают в процессе сборки машины и ее сборочных единиц и в процессе изготовления деталей. Технологические размерные цепи могут отображать связи между операциями (переходами) технологического процесса в получении того или иного размера, образовании размера при выполнении операции (перехода) или роль отдельных этапов операции в обеспечении точности выдерживаемого размера.

Рис. 3.18. Технологические размерные цепи, отражающие связь между операциями, участвующими в образовании размера K

Примером технологических размерных цепей могут быть те связи, которые возникают между операциями технологического процесса обработки плитки и получении размера K (рис. 3.18). Размер K в виде замыкающего звена A_{Δ} будет в технологическом процессе получен в результате выполнения

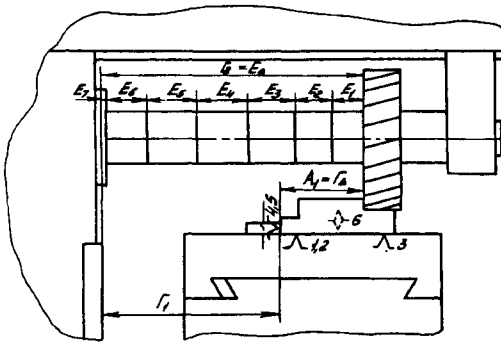


третьей операции. Составляющими звеньями размерной цепи A будут являться: A_1 — размер, непосредственно выдерживаемый при фрезеровании правого уступа (размер, полученный от технологической базы); A_2 — ширина левого уступа, полученного на второй операции. Но A_2 в свою очередь оказывается замыкающим звеном B_{Δ} трехзвенной размерной цепи B , так как он получается через два размера: B_1 — размер, непосредственно выдерживаемый от технологической базы на второй операции, и размер B_2 , с которым заготовка поступит после выполнения первой операции и где он будет получен непосредственно от технологической базы. В данном случае размерные цепи A и B вскрыли связи между операциями технологического процесса в образовании размера K , заложенные в технологический процесс выбором технологических баз.

Размер, выдерживаемый на операции непосредственно от технологической базы, образуется в процессе обработки заготовки как замыкающее звено размерной цепи технологической системы станок — приспособление — инструмент — заготовка. Например, размер A_1 (см. рис. 3.18) при фрезеровании уступа в плитке будет являться замыкающим звеном Γ_{Δ} (рис. 3.19) размерной цепи технологической системы, составляющими звеньями которой будут размеры Γ_1 и Γ_2 , определяющие в системе координат станка относительное положение инструмента и поверхности приспособления (планки), с которой соприкасается заготовка плитки своей технологической базой.

В дальнейшем будут приведены примеры технологических размерных цепей, возникающих в процессе сборки изделий, настройки станков и др.

Рис. 3.19. Размерная цепь технологической системы



Измерительной называют размерную цепь, с помощью которой познается значение измеряемого размера, расстояния, относительного поворота поверхностей или их осей изготавливаемого или изготовленного изделия.

На рис. 3.20 показана измерительная размерная цепь D , определяющая познанное значение расстояния между торцами плитки, измеряемого микрометром.

Любая из перечисленных видов размерная цепь может быть основной и производной.

Основной называют размерную цепь, замыкающим звеном которой является размер, обеспечиваемый в соответствии с решением основной задачи.

Производной называют размерную цепь, замыкающим звеном которой является одно из составляющих звеньев основной размерной цепи.

Производная размерная цепь раскрывает содержание составляющего звена основной размерной цепи. Так, размерная цепь G на рис. 3.19 является основной, кратчайшим путем отображающей получение размера G_{Δ} в технологической системе фрезерного станка. При желании содержание составляющих звеньев может быть раскрыто с помощью производных (размерных) цепей, как это сделано, например, со звеном G_2 с помощью производной размерной цепи E .

Звеньями размерных цепей могут быть либо линейные, либо угловые размеры. В зависимости от этого размерную цепь называют соответственно либо *линейной*, либо *угловой*.

Звенья размерной цепи могут быть расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях и в непараллельных плоскостях. В первом случае размерную цепь называют *плоской*, во втором — *пространственной*.

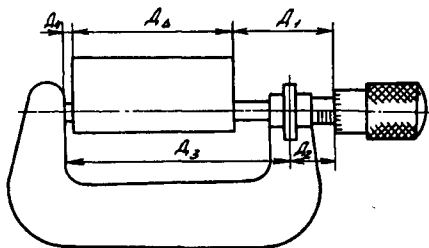


Рис. 3.20. Измерительная размерная цепь

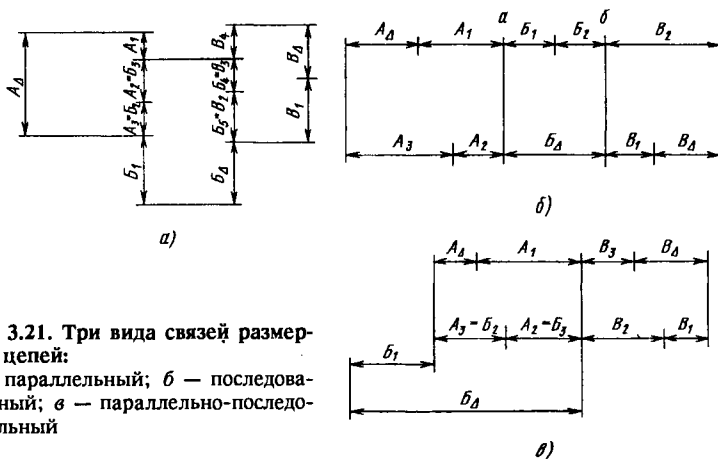


Рис. 3.21. Три вида связей размерных цепей:

a — параллельный; $б$ — последовательный; $в$ — параллельно-последовательный

В соответствии с изложенным в п. 2.4 размерные цепи могут быть связаны между собой. *Параллельно связанными* называют размерные цепи, имеющие одно или несколько общих составляющих звеньев. *Последовательно связанными* называют размерные цепи, из которых каждая последующая имеет одну общую базу с предыдущей.

Размерные цепи с комбинированной связью имеют между собой и параллельные, и последовательные связи.

Примеры трех видов связей размерных цепей даны на рис. 3.21.

Постановка задачи и выявление размерной цепи

Наиболее сложным в использовании теории размерных цепей на практике является выявление размерной цепи в соответствии с поставленной задачей. Отражая объективно действующие связи в конструкции изделия, технологическом процессе ее изготовления или при измерении, размерная цепь не допускает вольностей в ее построении. Только единственный вариант размерной цепи может дать правильное решение поставленной задачи. Отсюда понятно значение ошибки, допущенной при выявлении размерной цепи и сводящейся к нулю, вложенный в проектирование и изготовление изделия.

Выявление любой размерной цепи начинается с нахождения ее замыкающего звена.

Нахождение замыкающего звена. Замыкающее звено размерной цепи находят исходя из задачи, возникающей при конструировании изделия, его изготовлении или измерении. Поэтому вначале должна быть поставлена и четко сформулирована задача, решение которой

необходимо для обеспечения соответствия конструкции изделия его служебному назначению, обеспечения требуемой точности изделия при изготовлении или оценке его точности измерением.

При конструировании изделия переход от формулировки задачи к нахождению замыкающего звена заключается в выявлении такого линейного или углового размера, от значения которого полностью зависит решение поставленной задачи.

При изготовлении изделия замыкающим звеном размерной цепи является размер, точность которого должна быть обеспечена технологическим процессом.

При измерении замыкающим звеном является измеренный размер.

Таким образом, в замыкающем звене заключен смысл решаемой задачи, из чего следует, что каждая размерная цепь дает решение только одной задачи и может иметь одно замыкающее звено.

Допуск замыкающего звена устанавливают следующим образом: в конструкторских размерных цепях исходя из служебного назначения изделия или его механизма;

в технологических размерных цепях в соответствии с допуском на расстояние или относительный поворот поверхностей детали (их осей) или деталей изделия, которые необходимо получить в результате осуществления технологического процесса изготовления детали или сборки изделия;

в измерительных размерных цепях исходя из требуемой точности измерения.

Задача 1. Обеспечить плавное (без заеданий) передвижение золотника (рис. 3.22).

Легкость хода золотника зависит от зазора между золотником и корпусом. Поэтому замыкающим звеном размерной цепи, с помощью которой может быть решена эта задача, является зазор A_{Δ} между золотником и корпусом.

Нижнее предельное значение A_{Δ} должно быть установлено исходя из условия перемещения золотника в корпусе без заеданий и обеспечения минимального слоя смазочного материала, а верхнее предельное значение A_{Δ} исходя из нормы допустимой утечки масла в золотниковом устройстве, устанавливаемой в соответствии с его служебным назначением.

Задача 2. Обеспечить совмещение каналов в крышке и корпусе золотникового устройства.

Совмещение каналов в корпусе золотника и крышке означает их соосность. Поэтому замыкающим звеном размерной цепи, с помощью которой может быть решена эта задача, будет являться относи-

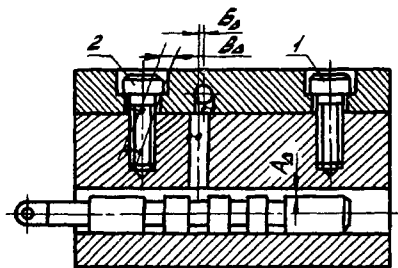
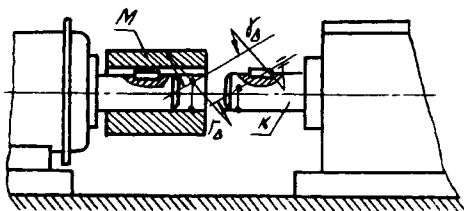


Рис. 3.22. Замыкающие звенья размерных цепей, отражающие сущность задач 1, 2 и 3

Рис. 3.23. Замыкающие звенья размерных цепей, обеспечивающих входение вала редуктора в отверстие муфты



тельное смещение B_{Δ} осей каналов. Допуск замыкающего звена B_{Δ} должен быть установлен исходя из допустимого сокращения объема масла, проходящего через канал в единицу времени в связи с увеличением сопротивления в гидравлической цепи из-за уменьшения площади сечения канала в стыке корпуса и крышки.

Задача 3. Обеспечить присоединение крышки золотника к корпусу винтами 1 и 2.

Если размеры винтов и отверстий в крышке корпуса установлены правильно, то одним винтом, например винтом 1, крышку всегда можно присоединить к корпусу. Присоединение крышки вторым винтом возможно лишь при том условии, что относительное смещение осей крепежных отверстий в крышке и корпусе не будет превышать половины зазора между винтом и отверстием в крышке. Поэтому замыкающим звеном B_{Δ} размерной цепи, с помощью которой обеспечивается присоединение крышки винтами 1 и 2, будет являться относительное смещение осей крепежных отверстий в крышке и корпусе.

При установлении допуска на замыкающее звено следует исходить из самого неблагоприятного случая и установить допуск, равный нижнему предельному зазору между винтом и отверстием в крышке.

Задача 4. Обеспечить входение вала K редуктора в муфту M , установленную на валу электродвигателя (рис. 3.23).

Входение вала редуктора в муфту возможно, если несовпадение оси вала с осью отверстия в муфте не будет превышать зазора между ними. Так как причиной несовпадения осей является относительное смещение и поворот вала и отверстия муфты в пространстве, то в каждой из двух координатных плоскостей необходимо учесть их в виде самостоятельных замыкающих звеньев. Например, в вертикальной плоскости ими будут Γ_{Δ} и γ_{Δ} .

Прежде чем установить допуски на исходные звенья Γ_{Δ} и γ_{Δ} , необходимо выявить границы допустимого зазора между валом и отверстием в муфте. Наибольший зазор S^{\max} должен быть назначен с учетом эксплуатационных требований к муфте. Наименьший зазор S^{\min} лимитирован не только условиями эксплуатации, но и трудностями изготовления деталей редуктора, двигателя, муфты и их монтажа.

Так как поля допусков $T_{\Gamma_{\Delta}}$ и $T_{\gamma_{\Delta}}$ должны быть установлены исходя из значений S^{\min} , при котором создаются самые неблагоприятные условия сборки, то сборщики изделия заинтересованы в наибольшем приближении S^{\min} к S^{\max} , но это приближение сокращает допуск на зазор, а следовательно, допуски на диаметры вала и отверстия в муфте, и усложняет изготовление деталей. Выбор значения S^{\min} должен быть сделан с учетом сложности изготовления изделия в целом.

Переход от S^{\min} к $T_{\Gamma_{\Delta}}$ и $T_{\gamma_{\Delta}}$ следует произвести по схеме, приведенной на рис. 3.24, где l — длина участка поверхности вала, на

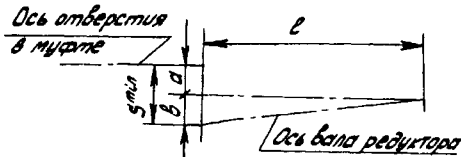


Рис. 3.24. Переход от S^{\min} к допускам на замыкающие звенья Γ_{Δ} и γ_{Δ}

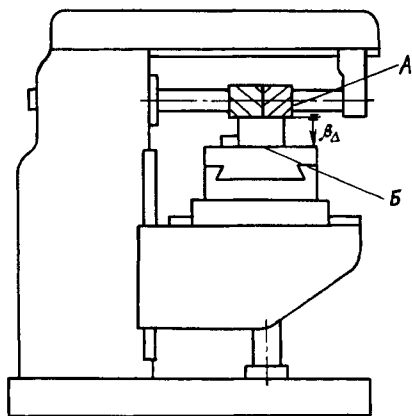


Рис. 3.25. Замыкающее звено технологической размерной цепи

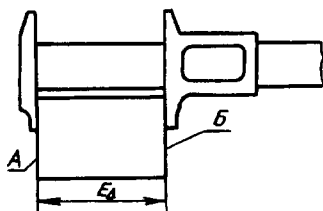


Рис. 3.26. Замыкающее звено измерительной размерной цепи

которой вал сопрягается с муфтой; a — смещение оси вала относительно оси отверстия в муфте; b — смещение конца вала из-за поворота его оси. Так как значением S^{\min} необходимо ограничить смещение и поворот вала редуктора в пространстве, то для ограничения их только в одной координатной плоскости можно использовать лишь часть зазора. Если считать, что смещение и повороты вала в каждой из координатных плоскостей равновероятны, то

$$(a + b) \leq S^{\min} \cos 45^\circ.$$

Отсюда $T_{r_\Delta} = a$ и $T_{\gamma_\Delta} = b/l$.

Задача 5. Необходимо обеспечить параллельность обрабатываемой поверхности A детали поверхности B , которой ее устанавливают на стол универсально-фрезерного станка (рис. 3.25).

Замыкающим звеном размерной цепи, с помощью которой решается эта задача, является относительный поворот β_Δ поверхностей изготавливаемой детали. Допуск замыкающего звена T_{β_Δ} должен быть задан равным установленному допуску на относительный поворот поверхностей A и B детали.

Задача 6. Измерить расстояние между поверхностями A и B детали, показанной на рис. 3.26, с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 поля допуска на это расстояние.

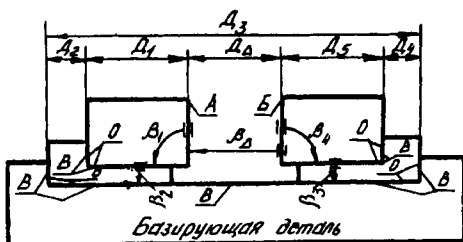
Замыкающим звеном E_Δ размерной цепи в этой задаче является измеренный размер. Допуск замыкающего звена T_{E_Δ} должен быть равным 0,1 поля допуска на размер, подлежащий измерению.

Выявление составляющих звеньев размерной цепи. Выявив замыкающее звено, можно приступить к нахождению составляющих звеньев размерной цепи. Составляющими звеньями конструкторских размерных цепей могут быть:

расстояния (относительные повороты) между поверхностями (их осями) деталей, образующих замыкающее звено, и основными базами этих деталей;

Рис. 3.27. Выявление составляющих звеньев конструктивных размерных цепей

расстояния (относительные повороты) между поверхностями вспомогательных и основных баз деталей, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи своими размерами.



Руководствуясь этим положением, для нахождения размерной цепи следует идти от поверхностей (их осей) деталей, образующих замыкающее звено, к основным базам этих деталей, от них — к основным базам деталей, базирующих первые детали, вплоть до образования замкнутого контура. Несовпадения (зазоры, несоосности) основных и вспомогательных баз соединяемых деталей, если они возможны, учитываются отдельными звеньями. Таким образом, деталь может участвовать в размерной цепи лишь одним своим размером.

Для пояснения изложенного на рис. 3.27 схематично изображена машина, у которой требуется обеспечить положение поверхности *Б* относительно поверхности *А*. Буквами *О* и *В* указаны соответственно основные и вспомогательные базы деталей.

В соответствии со сделанными выше рекомендациями построены размерные цепи D и β , определяющие относительное положение поверхностей *А* и *Б*.

На рис. 3.28 и 3.29 приведены размерные цепи, построенные по изложенным выше правилам, с помощью которых решаются задачи

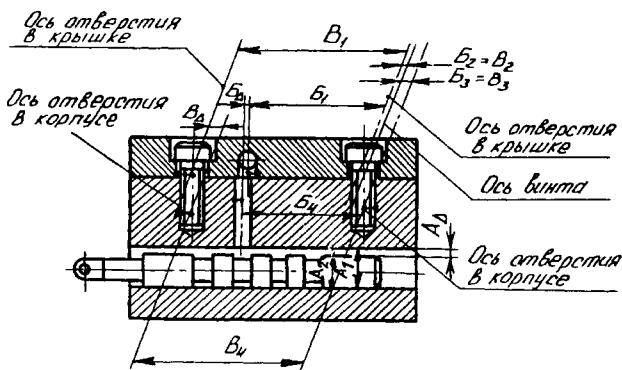


Рис. 3.28. Размерные цепи, с помощью которых решаются задачи 1 — 3

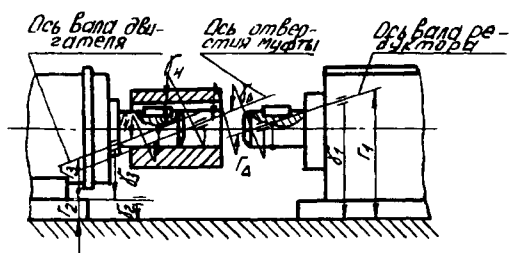


Рис. 3.29. Размерные цепи, с помощью которых решается задача 4

1—4. По тем же правилам выявляются технологические размерные цепи, возникающие в технологических системах, и измерительные размерные цепи. На рис. 3.30 и 3.31 представлены размерные цепи, относящиеся к задачам 5 и 6.

Выявление технологических размерных цепей, отображающих связь операций при получении размера детали, рекомендуется начинать с последней операции, на которой получается выдерживаемый размер. При этом могут иметь место два варианта:

а) задача обеспечения точности размера решается в пределах последней операции (в тех случаях, когда в качестве одной из технологических баз используется поверхность, от которой задан размер). В этом случае точность выдерживаемого размера достигается с помощью размерной цепи технологической системы, используемой на этой операции;

б) выдерживаемый размер будет являться замыкающим звеном трехзвенной размерной цепи, в которой одним из составляющих звеньев является расстояние (поворот) между конечным положением режущего инструмента и технологической базой детали, а другим составляющим звеном — размер, полученный на одной из предшествующих операций.

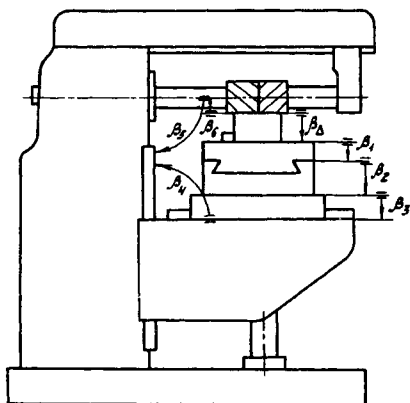


Рис. 3.30. Размерная цепь технологической системы

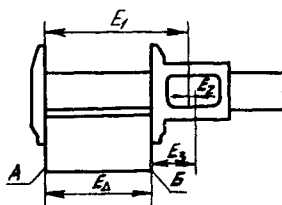


Рис. 3.31. Измерительная размерная цепь

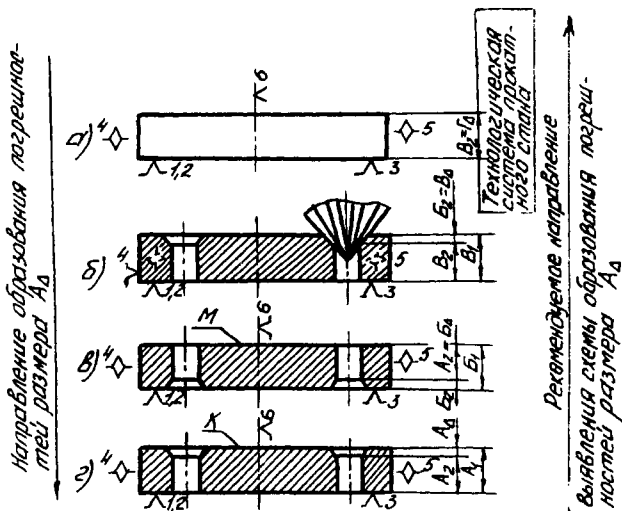


Рис. 3.32. Технологические размерные цепи, определяющие глубину зенкования отверстий в пластине

Рассматривая последний как замыкающее звено размерной цепи, возникающей на предшествующей операции, могут иметь место либо вариант *а*, либо вариант *б*. Развитие размерных связей завершается операцией, на которой размер получается как замыкающее звено размерной цепи технологической системы.

Задача 7. Выявить схему образования глубины зенкования отверстий пластины, обрабатываемой по следующему маршруту:

- вырубка заготовки из листа (рис. 3.32, *а*);
- сверление отверстий и зенкование (рис. 3.32, *б*);
- закалка;
- шлифование поверхности *М* (рис. 3.32, *в*);
- шлифование поверхности *К* (рис. 3.32, *г*).

Следуя от конечной операции, окончательно определяющей глубину зенкования, к началу технологического процесса можно выявить размерные цепи, раскрывающие схему образования глубины зенкования в спроектированном (действующем) технологическом процессе.

При таком построении технологического процесса поле рассеяния глубины зенкования в партии деталей образуется по схеме, показанной на рис. 3.33.

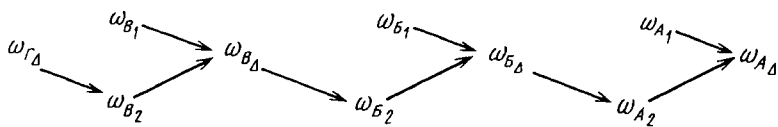


Рис. 3.33. Формирование поля рассеяния значений размера A_{Δ}

Методы расчета размерных цепей

Размерные цепи являются одной из разновидностей связей, действующих в машине и производственном процессе ее изготовления. Поэтому все теоретические положения о связях распространяются на размерные цепи в той же мере, как и на другие виды связей.

Количественную связь замыкающего звена A_{Δ} с составляющими звеньями A_i отражает уравнение размерной цепи:

$$A_{\Delta} = f(A_1, A_2, A_3, \dots, A_{m-1}).$$

Из схемы плоской размерной цепи A с параллельными звеньями (рис. 3.34) видно, что номинальное значение замыкающего звена A_{Δ} равно алгебраической сумме номинальных значений составляющих звеньев:

$$A_{\Delta} = -A_1 + A_2 + A_3 - A_4,$$

в которой увеличивающие звенья имеют знак "+", а уменьшающие — знак "-".

Свойства составляющих звеньев можно учесть в уравнении размерной цепи с помощью передаточных отношений. Это дает возможность записать уравнение размерной цепи в общем виде:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_{A_i} A_i, \quad (3.1)$$

где $i = 1, 2, \dots, m - 1$ — порядковый номер составляющего звена; ξ_{A_i} — передаточное отношение i -го составляющего звена; для плоских размерных цепей с параллельными звеньями $\xi_i = 1$ для увеличивающих составляющих звеньев, $\xi_i = -1$ для уменьшающих составляющих звеньев.

Согласно количественной связи средних значений функции и аргументов [см. (2.1)]

$$\bar{A}_{\Delta} = f(\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3, \dots, \bar{A}_{m-1}).$$

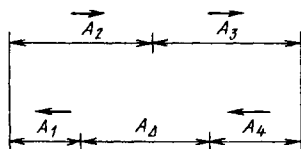


Рис. 3.34. Плоская размерная цепь с параллельными звеньями

Для размерной цепи, показанной на рис. 3.34,

$$\bar{A}_\Delta = -\bar{A}_1 + \bar{A}_2 + \bar{A}_3 - \bar{A}_4.$$

Но среднее допустимое значение любой величины может быть выражено через ее номинальное значение и координату середины поля допуска: $\bar{A} = A + \Delta_{0A}$, поэтому

$$A_\Delta + \Delta_{0A_\Delta} = -(A_1 + \Delta_{0A_1}) + (A_2 + \Delta_{0A_2}) + (A_3 + \Delta_{0A_3}) - (A_4 + \Delta_{0A_4}).$$

Вычитая из этого уравнения уравнение номиналов размерной цепи $A_\Delta = -A_1 + A_2 + A_3 - A_4$, получим уравнение координат середин полей допусков:

$$\Delta_{0A_\Delta} = -\Delta_{0A_1} + \Delta_{0A_2} + \Delta_{0A_3} - \Delta_{0A_4}.$$

Таким образом, по внешнему виду уравнение координат середин полей допусков совпадает с уравнением номиналов размерной цепи. Однако при расчетах координат середин полей допусков нельзя забывать о собственных знаках координат, которыми они наделены. Это необходимо отразить и в словесной формулировке уравнения координат середин полей допусков.

Координата середины поля допуска замыкающего звена плоской размерной цепи с параллельными звеньями равна алгебраической сумме координат середин полей допусков составляющих звеньев с учетом их собственных знаков, т.е.

$$\Delta_{0\Delta} = \sum_{i=1}^n \vec{\Delta}_{0i} - \sum_{n+1}^{m-1} \bar{\Delta}_{0i}, \quad (3.2)$$

в более общем виде

$$\Delta_{0\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{0i}. \quad (3.3)$$

Все рассуждения, касающиеся координат середин полей допусков, в полной мере распространяются и на координаты середин полей рассеяния. Поэтому по аналогии будем иметь

$$\Delta_{\omega_{\Delta}} = \sum_{i=1}^n \vec{\Delta}_{\omega_i} - \sum_{n+1}^{m-1} \vec{\Delta}_{\omega_i}$$

или

$$\Delta_{\omega_{\Delta}} = \sum_{i=1}^m \xi_i \Delta_{\omega_i}. \quad (3.4)$$

При расчетах полей допусков или полей рассеяния могут быть использованы два метода: расчет на максимум—минимум и вероятностный расчет.

Метод расчета на максимум—минимум учитывает только предельные отклонения звеньев размерной цепи и самые неблагоприятные их сочетания. Например, в размерной цепи A , показанной на рис. 3.35, $A_{\Delta} = -A_1 + A_2$, предельные отклонения замыкающего звена будут при следующих сочетаниях предельных отклонений составляющих звеньев:

$$\Delta_{B_{A_{\Delta}}} = -\Delta_{H_{A_1}} + \Delta_{B_{A_2}}; \quad \Delta_{H_{A_{\Delta}}} = -\Delta_{B_{A_1}} + \Delta_{H_{A_2}}.$$

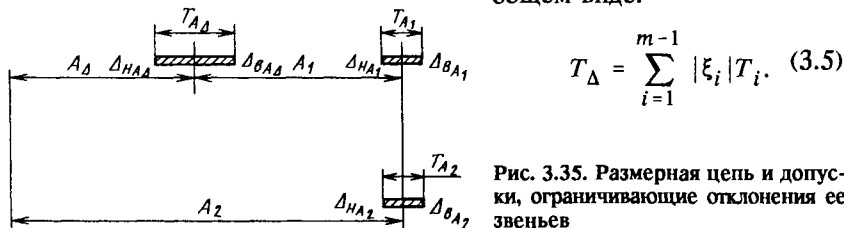
Вычитая почленно из первого равенства второе, получим

$$(\Delta_{B_{A_{\Delta}}} - \Delta_{H_{A_{\Delta}}}) = (-\Delta_{H_{A_1}} + \Delta_{B_{A_1}}) + (\Delta_{B_{A_2}} - \Delta_{H_{A_2}}).$$

Но разность верхнего и нижнего предельных отклонений какой-то величины есть поле допуска, в пределах которого допустимы ее отклонения, поэтому

$$T_{A_{\Delta}} = T_{A_1} + T_{A_2}.$$

Это положение действительно и для размерных цепей с числом составляющих звеньев $m - 1$, что дает право записать формулу в общем виде:



$$T_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| T_i. \quad (3.5)$$

Рис. 3.35. Размерная цепь и допуски, ограничивающие отклонения ее звеньев

При суммировании допусков учитывают абсолютные значения передаточных отношений, поскольку значения полей допусков всегда положительны. Это значит, что для плоских размерных цепей с параллельными звеньями

$$T_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} T_i, \quad (3.6)$$

так как $|\xi_i| = 1$.

Таким образом, поле допуска замыкающего звена плоской размерной цепи с параллельными звеньями равно сумме абсолютных значений полей допусков всех составляющих звеньев.

Формула, учитывающая связь поля рассеяния значений замыкающего звена (его отклонений) с полями рассеяния значений составляющих звеньев (их отклонений), может быть получена путем аналогичных рассуждений. Не прибегая к ним, приведем формулу в общем виде:

$$\omega_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \omega_i; \quad (3.7)$$

для плоских размерных цепей с параллельными звеньями

$$\omega_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \omega_i.$$

Вероятностный метод расчета учитывает рассеяние размеров и вероятность различных сочетаний отклонений составляющих звеньев размерной цепи.

Теоретическую основу для установления связи между полем допуска замыкающего звена и полями допусков составляющих звеньев размерной цепи дают положения теории вероятностей, касающиеся функции случайных аргументов (см. пп. 1.3 и 2.3). Согласно этим положениям

$$T_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 T_i^2}, \quad (3.8)$$

где t_{Δ} — коэффициент риска, характеризующий процент выхода значений замыкающего звена (его отклонений) за пределы установленного на него допуска; λ_i — коэффициент, характеризующий

выбираемый теоретический закон рассеяния значений i -го составляющего звена (его отклонений).

Возможное поле рассеяния замыкающего звена при известных полях рассеяния ω_i составляющих звеньев, коэффициентах λ_i и выбранном коэффициенте t_Δ можно рассчитать по формуле

$$\omega_\Delta = t_\Delta \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 \omega_i^2} . \quad (3.9)$$

В плоских размерных цепях, имеющих звенья, расположенные под углом к выбранному направлению, каждое из таких звеньев можно заменить его проекцией на это направление. Тем самым любую плоскую размерную цепь можно привести к размерной цепи с параллельно расположенными звеньями.

В качестве примера на рис. 3.36, а приведена размерная цепь B , в которой звено B_2 находится под углом α_1 , а B_4 — под углом α_2 относительно направления замыкающего звена B_Δ . Замыкающее звено этой размерной цепи

$$B_\Delta = -B_1 + B_2 \cos \alpha_1 + B_3 + B_4 \cos \alpha_2.$$

Бывают случаи (рис. 3.36, б), когда повернутые составляющие звенья являются общими звеньями параллельно связанных размерных цепей, имеющих разные направления. При расчете таких размерных цепей повернутые звенья проектируются на два направления. Тогда

$$\begin{aligned} A_\Delta &= A_1 \cos \alpha_1 + A_2 \cos \alpha_2 + A_3; \\ B_\Delta &= B_1 \sin \alpha_1 + B_2 \sin \alpha_2 + B_3 + B_4 - B_5. \end{aligned}$$

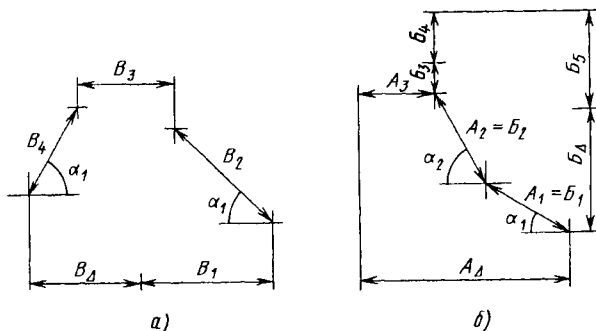


Рис. 3.36. Размерные цепи со звеньями, непараллельными избранному направлению

Пространственные размерные цепи рассматривают в трех координатных плоскостях и используют проекции звеньев на три направления:

$$\begin{aligned}A_{iX} &= A_i \cos \alpha_i; \\A_{iY} &= A_i \cos \beta_i; \\A_{iZ} &= A_i \cos \gamma_i,\end{aligned}$$

где A_{iX} , A_{iY} , A_{iZ} — проекции A_i -го звена на соответствующие координатные оси; α_i , β_i , γ_i — углы между A_i -м звеном и направлением соответствующей оси.

Таким образом, плоские и пространственные размерные цепи, имеющие звенья, повернутые относительно выбранного направления, рассчитывают, используя проекции этих звеньев. Тригонометрические функции, используемые для получения проекций звеньев на соответствующие направления, выполняют в данном случае роль передаточных отношений, учитывающих одновременно принадлежность звена к числу увеличивающих или уменьшающих звеньев. Поэтому формулы (3.1), (3.3), (3.4), (3.5), (3.7) — (3.9) можно использовать и при расчете размерных цепей со звеньями, повернутыми относительно выбранных направлений.

При расчетах размерных цепей можно решать прямую и обратную задачи. При решении прямой задачи, исходя из установленных требований, к замыкающему звену устанавливают номинальные размеры, поля допусков, координаты середин полей допусков и предельные отклонения всех составляющих звеньев размерной цепи.

При решении обратной задачи, исходя из значений номинальных размеров, полей допусков, координат их середин, предельных отклонений составляющих звеньев, определяют те же характеристики замыкающего звена. В данном случае решением обратной задачи проверяют правильность решения прямой задачи. Если необходимо определить ожидаемую точность замыкающего звена, находят поле рассеяния, координату его середины или границы отклонений замыкающего звена на основании аналогичных данных о составляющих звеньях.

Методы достижения точности замыкающего звена

В конечном счете обеспечение точности создаваемой машины сводится к достижению требуемой точности замыкающих звеньев размерных цепей, заложенных в ее конструкцию, и размерных цепей, возникающих в процессе изготовления машины. Задача обеспечения требуемой точности замыкающего звена в зависимости

от предъявляемых к нему требований, типа и условий производства может быть решена экономично одним из пяти методов: полной, неполной, групповой взаимозаменяемости, пригонки или регулирования.

Метод полной взаимозаменяемости. Сущность метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается во всех случаях ее реализации путем включения в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значений.

Сборка изделий при использовании метода полной взаимозаменяемости сводится к механическому соединению взаимозаменяемых деталей. При этом у 100 % собираемых объектов автоматически обеспечивается требуемая точность замыкающих звеньев размерных цепей.

При изготовлении партии деталей на станке метод полной взаимозаменяемости обеспечивает надлежащую точность замыкающих звеньев технологических размерных цепей. Благодаря этому точность выдерживаемых размеров у деталей всей партии будет соответствовать установленному допуску.

Можно привести много примеров использования метода полной взаимозаменяемости как в машиностроении, так и в бытовой технике (взаимозаменяемые детали и узлы автомобилей, телевизоров, холодильников, взаимозаменяемые шарико- и роликоподшипники, крепежные детали). Методом взаимозаменяемости обеспечивается соединение цоколя электрической лампочки с патроном, взаимозаменяемые детали шариковых ручек и т.д.

Широкое использование метода полной взаимозаменяемости в жизни объясняется следующими его преимуществами:

относительная простота достижения требуемой точности замыкающего звена, так как формирование размерной цепи сводится практически к простому соединению ее составляющих звеньев;

возможность широкого кооперирования различных цехов и заводов при изготовлении отдельных деталей или сборочных единиц машин;

возможность выполнения технологических процессов изготовления деталей и особенно сборки машин рабочими невысокой квалификации;

простота нормирования технологических процессов во времени.

Поля допусков или возможные значения поля рассеяния замыкающего рассчитывают по методу максимума-минимума с использованием формул (3.5) и (3.7).

При решении прямой задачи расчет полей допусков сводится к распределению поля допуска замыкающего звена между составляющими звеньями. Такое распределение многовариантно, что характер-

но для решения любой проектной задачи. Формально все решения будут правильными, если в каждом из них сумма допусков составляющих звеньев будет равна допуску замыкающего звена. Однако не все решения могут быть приемлемыми с точки зрения экономики.

Поэтому распределение значения поля допуска замыкающего звена между составляющими звеньями ведут, сопровождая его хотя бы мысленной оценкой экономической целесообразности устанавливаемого поля допуска на то или иное составляющее звено. Например, при расчете конструкторских размерных цепей обычно учитывают следующее:

чисто технические возможности достижения задаваемой точности;

экономичность способов обработки, которые могут быть использованы в процессе изготовления деталей (сведения о средней экономической точности различных методов обработки можно получить в справочниках технолога);

число изделий, подлежащих изготовлению, во многом влияющее на оценку экономичности метода обработки.

Таким образом, критерием удачного распределения поля допуска замыкающего звена между составляющими звеньями может служить лишь себестоимость решения задачи с помощью рассматриваемой размерной цепи.

Расчет координат середин полей допусков не связан с экономикой. Однако всегда желательно придание полю допуска положения относительно номинального значения составляющего звена, удобного для производителей. Этим объясняется частое задание допуска в "материал" детали и симметрично расположенных допусков.

Рассчитывая координаты, обычно составляют уравнение координат середин полей допусков и, используя формулы (3.2) и (3.3), устанавливают значения координат середин полей допусков составляющих звеньев, за исключением одного. Решая уравнение с одним неизвестным, находят недостающую координату середины поля допуска.

При расчете полей допусков и координат их середин часты случаи, когда приходится учитывать ограничения, установленные стандартами и другими нормативными материалами. Обязательность их учета не затрагивает существа расчетов и их методической направленности.

Правильность рассчитанных допусков может быть проверена путем определения по установленным значениям полей допусков составляющих звеньев и координат их середин предельных отклонений замыкающего звена и сопоставления их с условиями задачи.

Предельные отклонения замыкающего звена могут быть найдены по следующим формулам:

$$\Delta_{H_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{0_i} - \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| 0,5T_i;$$

$$\Delta_{B_{A_{\Delta}}} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{0_i} + \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| 0,5T_i.$$

Рассмотрим пример обеспечения требуемой точности замыкающего звена методом полной взаимозаменяемости.

Задача. Обеспечить зазор между торцами зубчатого колеса и проставочного кольца в механизме (рис. 3.37) в пределах 0–0,2 мм.

Замыкающим звеном A_{Δ} является размер, связывающий торцы зубчатого колеса и проставочного кольца. Размерная цепь A , определяющая зазор, показана на рис. 3.37. Ее уравнение

$$A_{\Delta} = -A_1 + A_2 - A_3.$$

Из условий задачи следует, что поле допуска замыкающего звена

$$T_{A_{\Delta}} = \Delta_{B_{A_{\Delta}}} - \Delta_{B_{A_{\Delta}}} = 0,2 - 0 = 0,2 \text{ мм},$$

а координата середины поля допуска замыкающего звена

$$\Delta_{0_{A_{\Delta}}} = 0,5(\Delta_{B_{A_{\Delta}}} + \Delta_{B_{A_{\Delta}}}) = 0,5(0,2 + 0) = +0,1 \text{ мм}.$$

Имея дело с плоской линейной размерной цепью ($|\xi_{A_1}| = 1$) и решая задачу методом полной взаимозаменяемости, при назначении полей допусков на составляющие звенья необходимо соблюдение условия $\sum_{i=1}^{m-1} T_{A_i} = T_{A_{\Delta}}$.

Учитывая степень сложности достижения требуемой точности составляющих звеньев в процессе изготовления деталей, подбором устанавливаем: $T_{A_1} = 0,03 \text{ мм}$, $T_{A_2} = 0,15 \text{ мм}$, $T_{A_3} = 0,02 \text{ мм}$.

Принимаем координаты середин полей допусков: $\Delta_{0_{A_1}} = -0,015 \text{ мм}$, $\Delta_{0_{A_2}} = +0,075 \text{ мм}$.

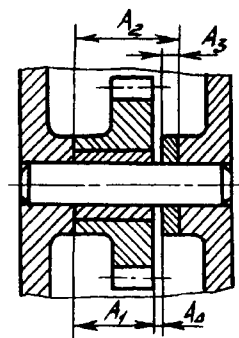


Рис. 3.37. Размерная цепь, обеспечивающая зазор A_{Δ}

Координату середины поля допуска третьего звена находим из уравнения

$$\Delta_{0_{A_3}} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_{A_i} \Delta_{0_{A_i}} = -\Delta_{0_{A_1}} + \Delta_{0_{A_2}} - \Delta_{0_{A_3}},$$

т.е. $0,1 = 0,015 + 0,075 - \Delta_{0_{A_3}}$. Следовательно, $\Delta_{0_{A_3}} = -0,01$ мм.

Правильность назначения допусков проверим, определив предельные отклонения замыкающего звена:

$$\begin{aligned} \Delta_{н_{A_3}} &= \sum_{i=1}^{m-1} \xi_{A_i} \Delta_{0_{A_i}} - \sum_{i=1}^{m-1} 0,5T_{A_i} = \\ &= (0,015 + 0,075 + 0,01) - 0,5(0,03 + 0,15 + 0,02) = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{в_{A_3}} &= \sum_{i=1}^{m-1} \xi_{A_i} \Delta_{0_{A_i}} + \sum_{i=1}^{m-1} 0,5T_{A_i} = \\ &= (0,015 + 0,075 + 0,01) + 0,5(0,03 + 0,15 + 0,02) = 0,2 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Сопоставление с условиями задачи показывает, что допуски установлены правильно.

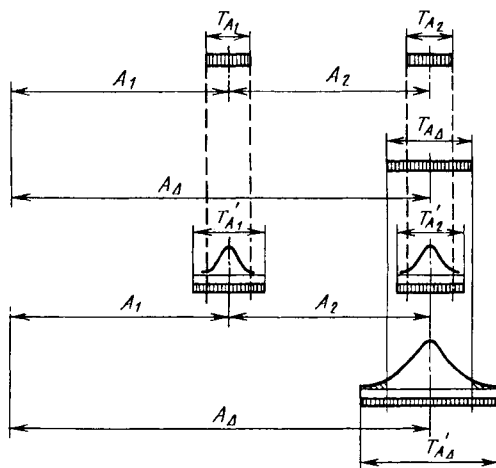
Метод полной взаимозаменяемости, учитывающий возможность сочетания крайних отклонений составляющих звеньев, часто приводит к неэкономичным допускам. Считается, что экономически оправданной областью использования метода полной взаимозаменяемости являются малозвенные размерные цепи и размерные цепи с относительно широким полем допуска замыкающего звена.

Очень малая вероятность сочетания в размерной цепи крайних отклонений составляющих звеньев приводит порой к отрицанию права метода полной взаимозаменяемости на существование. Такие категоричные утверждения не только не верны, но и опасны, так как существуют области, для которых единственно приемлемым является метод полной (абсолютной) взаимозаменяемости. К числу таковых, например, относят стрелковое оружие, в котором отклонения диаметральных размеров канала ствола и пули во избежание отказов допустимы в пределах, установленных только по методу полной взаимозаменяемости.

Тем не менее в расчетах размерных цепей следует всегда стремиться к выбору метода достижения требуемой точности замыкающего звена, дающего экономичное решение задачи в соответствующих производственных условиях.

Метод неполной взаимозаменяемости. Сущность метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается с некоторым, заранее обусловленным риском путем

Рис. 3.38. Сравнительная схема достижения точности замыкающего звена методами полной и неполной взаимозаменяемости



звеньев в сравнении с их значениями, установленными при достижении точности замыкающего звена методом полной взаимозаменяемости. Эта возможность создается малой вероятностью возникновения крайних отклонений составляющих звеньев и сочетаний таких отклонений при формировании значения замыкающего звена.

На рис. 3.38 дано разъяснение принципиального различия между методами полной и неполной взаимозаменяемости и схематично отображено преимущество второго метода перед первым.

При заданном допуске $T_{A\Delta}$ замыкающего звена трехзвенной размерной цепи A при использовании метода полной взаимозаменяемости допуски составляющих звеньев

$$T_{A_1} + T_{A_2} = T_{A\Delta}.$$

Установив более широкие допуски на составляющие звенья ($T'_{A_1} > T_{A_1}$ и $T'_{A_2} > T_{A_2}$) и ориентируясь на метод полной взаимозаменяемости, мы вправе ожидать отклонений замыкающего звена

$$T'_{A\Delta} = T'_{A_1} + T'_{A_2}.$$

Однако в силу распределения как самих отклонений составляющих звеньев, так и их сочетаний, например, по закону Гаусса вероятность выхода отклонений замыкающего звена за пределы $T_{A\Delta}$ будет небольшой. Это нетрудно представить, сопоставив площади

заштрихованных и незаштрихованного участков, находящихся под кривой распределения отклонений замыкающего звена.

Таким образом, метод неполной взаимозаменяемости не гарантирует получения 100 % изделий с отклонениями замыкающего звена в пределах заданного допуска. Однако дополнительные затраты труда и средств на исправление небольшого числа изделий, размеры которых вышли за пределы допуска, в большинстве случаев малы по сравнению с экономией труда и средств, получаемых при изготовлении изделия, размеры которого имеют более широкие допуски. При сборке изделий дополнительные затраты труда и средств вызываются разборкой изделий с отклонениями замыкающего звена, выходящими за пределы допуска, и возвращением их деталей в тары в расчете на то, что в сочетании с другими деталями эти детали окажутся пригодными для других экземпляров собираемых изделий.

Экономический эффект, получаемый от использования метода неполной взаимозаменяемости вместо метода полной взаимозаменяемости, возрастает по мере повышения требований к точности замыкающего звена и увеличения числа составляющих звеньев в размерной цепи.

При расчете полей допусков по методу неполной взаимозаменяемости используют формулу (3.8), в которой учтены вероятностные явления, сопровождающие процесс изготовления машины.

При решении прямой задачи исходным является значение поля допуска замыкающего звена, заданное условиями задачи и подлежащее распределению между составляющими звеньями. Значения T_{Δ} распределяют с учетом выбираемых значений коэффициента риска t_{Δ} и коэффициента λ_i , характеризующего закон рассеяния отклонений составляющих звеньев. Допуск замыкающего звена есть корень квадратный из суммы квадратов допусков составляющих звеньев с учетом λ_i .

Значение коэффициента риска t_{Δ} выбирают из таблиц значений функции $\Phi(t)$ Лапласа в зависимости от принятого риска P в %. При нормальном законе распределения отклонений и равновероятном их выходе за обе границы поля допуска

$$P = 100 [1 - 2\Phi(t)].$$

Некоторые значения коэффициента t_{Δ} приведены ниже:

Риск P , %	32,00	10,00	4,50	1,00	0,27	0,10	0,01
Коэффициент t_{Δ}	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

Правильность выбора значения P может быть обоснована только технико-экономическим расчетом. Например, связывая такой расчет

со сборкой изделий, необходимо учесть затраты на возможную разборку изделий в количестве, соответствующем P , и сопоставить их с общей выгодой, которую дает расширение допусков составляющих звеньев в соответствии с выбранным значением P .

Значение коэффициента λ_i можно назначать, а можно выбирать. Если бы производителям был дан метод управления законом распределения отклонений составляющих звеньев, что, в принципе, вполне возможно, то значения λ_i не выбирали, а назначали, как это делают с допусками. Пока же значения λ_i приходится выбирать с учетом возможных условий, в которых будут осуществляться технологические процессы.

Практика показывает, что наиболее распространенными законами, которым подчинено рассеяние отклонений, являются нормальный закон (закон Гаусса), где $\lambda_i^2 = 1/9$, закон Симпсона (закон треугольника), где $\lambda_i^2 = 1/6$, закон равной вероятности, где $\lambda_i^2 = 1/3$.

Наиболее благоприятные условия для рассеяния отклонений по нормальному закону складываются в массовом и крупносерийном производстве, менее благоприятно — в мелкосерийном и единичном.

В тех случаях, когда трудно предвидеть законы распределения отклонений составляющих звеньев размерной цепи, избирают закон Симпсона или закон равной вероятности. Несоответствие фактических законов распределения, принятым в расчете, может повлечь за собой больший процент выхода отклонений замыкающего звена за пределы установленного допуска.

Распределение допуска замыкающего звена между составляющими звеньями методом подбора обычно сопровождается многократными проверками сходимости с допуском замыкающего звена, заданного условиями задачи, квадратичной суммы допусков составляющих звеньев и корректировками их значений. При этом не должен упускаться из виду экономический фактор, обуславливающий практическую приемлемость устанавливаемых допусков.

Координаты середин полей допусков рассчитывают по формулам (3.2) и (3.3) так же, как и при методе полной взаимозаменяемости. Уместно отметить, что эти формулы являются общими для всех пяти методов достижения требуемой точности замыкающего звена.

Правильность установленных допусков может быть проверена сопоставлением предельных отклонений замыкающего звена с заданными его значениями:

$$\Delta_{н\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{0i} - t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 (0,5T_i)^2};$$

$$\Delta_{B\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{0_i} + t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 (0,5T_i)^2}.$$

Для иллюстрации методики расчета допусков при достижении требуемой точности замыкающего звена методом неполной взаимозаменяемости возьмем ранее рассмотренный пример (см. рис. 3.37), полностью сохранив условия задачи.

Итак, $T_{A_{\Delta}} = 0,2$ мм, $\Delta_{0_{A_{\Delta}}} = +0,1$ мм.

Зададим значение коэффициента риска $t_{A_{\Delta}}$, считая, что в данном случае $P = 1$ % экономически оправдан. Такому риску соответствует $t_{A_{\Delta}} = 2,57$.

Полагая, что условия изготовления деталей таковы, что распределение отклонений составляющих звеньев будет близким к закону Гаусса, принимаем $\lambda_{A_i}^2 = 1/9$.

Учитывая трудности достижения требуемой точности каждого составляющего звена и используя формулу (3.8), подбираем следующие значения полей допусков: $T_{A_1} = 0,1$ мм; $T_{A_2} = 0,20$ мм; $T_{A_3} = 0,06$ мм.

Действительно, при этих значениях T_{A_i}

$$\begin{aligned} T_{A_{\Delta}} &= t_{A_{\Delta}} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_{A_i}^2 T_{A_i}^2} = \\ &= 2,57 \sqrt{\frac{1}{9} (0,1^2 + 0,2^2 + 0,06^2)} = 0,2 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Для двух составляющих звеньев установим следующие значения координат середин полей допусков: $\Delta_{0_{A_1}} = 0$, $\Delta_{0_{A_2}} = 0,1$ мм.

Значение $\Delta_{0_{A_3}}$ найдем из уравнения

$$\Delta_{0_{A_{\Delta}}} = -\Delta_{0_{A_1}} + \Delta_{0_{A_2}} - \Delta_{0_{A_3}}, \text{ т.е. } 0,1 = 0 + 0,1 - \Delta_{0_{A_3}}.$$

Следовательно, $\Delta_{0_{A_3}} = 0$.

Установленные поля допусков и координаты их середин следует рассматривать как один из возможных вариантов решения задачи. Наряду с ним возможны другие варианты распределения поля допуска замыкающего звена, если они экономически оправданы. Могут быть установлены и другие значения координат середин полей допусков, но непременно связанные уравнением (3.3).

Правильность установленных допусков может быть проверена по формулам (3.10) и (3.11). Используя их, определяем

$$\begin{aligned} \Delta_{н A_{\Delta}} &= \sum_{i=1}^{m-1} \xi_{A_i} \Delta_{0 A_i} - t_{A_{\Delta}} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{A_i}^2 \lambda_{A_i}^2 \left(\frac{T_{A_i}}{2}\right)^2} = \\ &= (0 + 0,1 - 0) - 2,57 \sqrt{\frac{1}{9} \left(\frac{0,1^2 + 0,2^2 + 0,06^2}{4}\right)} = 0,1 - 0,1 = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{в A_{\Delta}} &= \sum_{i=1}^{m-1} \xi_{A_i} \Delta_{0 A_i} + t_{A_{\Delta}} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{A_i}^2 \lambda_{A_i}^2 \left(\frac{T_{A_i}}{2}\right)^2} = \\ &= (0 + 0,1 - 0) + 2,57 \sqrt{\frac{1}{9} \left(\frac{0,1^2 + 0,2^2 + 0,06^2}{4}\right)} = +0,2 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Сопоставляя эти значения с условиями задачи, убеждаемся в правильном ее решении.

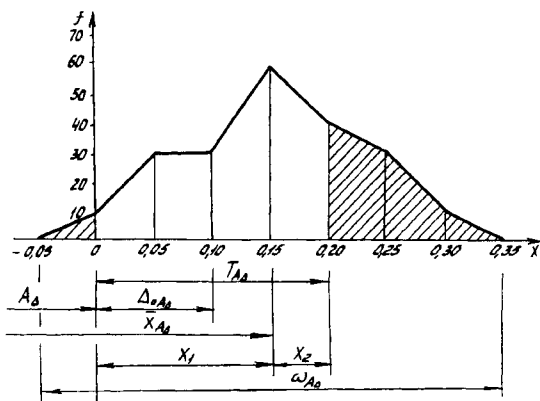
Интересно сопоставить значения полей допусков, установленные при решении задачи методами полной и неполной взаимозаменяемости и приведенными в табл. 3.1.

В практике машиностроения часты случаи, когда необходимо вычислить процент q выхода значений отклонений замыкающего звена за границы поля допуска на основании данных о фактической точности замыкающего звена. В общем случае эта задача решается с использованием нормированной функции Лапласа (см. п. 1.3).

3.1. Сопоставление полей допусков при расчете двумя методами

Звено (см. рис. 3.38)	T_{A_i} при расчете по методам взаимозаменяемости		Увеличение T_{A_i} , раз
	полной	неполной	
A_1	0,03	0,10	3,33
A_2	0,15	0,20	1,33
A_3	0,02	0,06	3,00

Рис. 3.39. Выход отклонений замыкающего звена за границы поля допуска



Пример. Определить процент выхода за пределы поля допуска отклонений замыкающего звена размерной цепи, распределение которых характеризуется практической кривой и данными, приведенными на рис. 3.39.

Форма кривой распределения показывает, что распределение отклонений замыкающего звена подчинено закону, близкому к закону Гаусса. Поле рассеяния замыкающего звена

$$\omega_{A_{\Delta}} = \Delta_{A_{\Delta}}^{\text{вб}} - \Delta_{A_{\Delta}}^{\text{вм}} = 0,35 - (-0,05) = 0,40 \text{ мм.}$$

Приближенное значение среднего квадратического отклонения

$$\sigma_{A_{\Delta}} = \frac{\omega_{A_{\Delta}}}{6} = \frac{0,40}{6} \approx 0,07 \text{ мм.}$$

Следовательно,

$$P(x_1 = 0 < x < x_2) = \Phi(t_2 - t_1) = \Phi\left(\frac{x_2 - \bar{X}_{A_{\Delta}}}{\sigma_{A_{\Delta}}}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - \bar{X}_{A_{\Delta}}}{\sigma_{A_{\Delta}}}\right) = \Phi\left(\frac{0,2 - 0,15}{0,07}\right) - \Phi\left(\frac{0 - 0,15}{0,07}\right) = \Phi(0,71) + \Phi(2,1).$$

Находим по таблице "Значения функции Лапласа" $\Phi(0,71) = 0,2610$ и $\Phi(2,1) = 0,4820$. Отсюда $P(x_1 < x < x_2) = 0,2610 + 0,4820 = 0,743$.

Искомый процент выхода значений отклонений замыкающего звена за пределы поля допуска

$$q = 100(1 - P) \% = 100(1 - 0,743) = 25,7 \%.$$

Метод групповой взаимозаменяемости. Сущность метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к одной из групп, на которые они предварительно рассортированы.

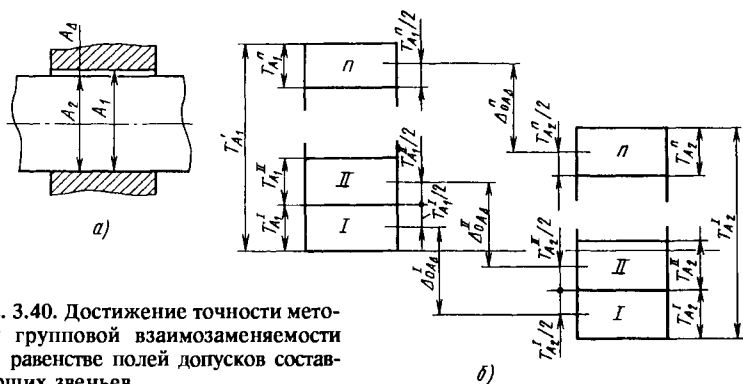


Рис. 3.40. Достижение точности методом групповой взаимозаменяемости при равенстве полей допусков составляющих звеньев

При применении метода групповой взаимозаменяемости поле допуска T_{Δ} замыкающего звена, заданное условиями задачи, увеличивается в целое число n раз. Расширенное поле допуска, часто называемое производственным допуском, $T_{\Delta}' = nT_{\Delta}$, используют для ограничения отклонений составляющих звеньев размерной цепи. Детали, изготовленные по более широким допускам, в сравнении с методами полной или неполной взаимозаменяемости, сортируют на n групп. Изделия собирают из деталей, принадлежащих соответственным группам, что обеспечивает точность изделий в пределах заданного поля допуска T_{Δ} и взаимозаменяемость деталей в границах каждой группы.

При распределении поля допуска T_{Δ}' между составляющими звеньями должно быть обязательно соблюдено условие: сумма полей допусков увеличивающих составляющих звеньев должна быть равна сумме полей допусков уменьшающих звеньев:

$$\sum_{i=1}^k |\xi_i| \bar{T}'_i = \sum_{k+1}^{m-1} |\xi_i| \bar{T}'_i.$$

Непременность соблюдения этого условия можно пояснить на примере трехзвенной размерной цепи, к которой можно свести любую многозвенную цепь путем суммирования ее звеньев в каждой из ветвей.

На рис. 3.40, а изображена размерная цепь A , определяющая зазор A_{Δ} между валом и отверстием во втулке, $|\xi_{A_{\Delta}}| = 1$:

$$A_{\Delta} = \vec{A}_1 - \vec{A}_2.$$

Поле допуска $T_{A_{\Delta}}$ замыкающего звена увеличено в n раз. В соответствии с ним установлены производственные поля допусков T'_{A_1} и T'_{A_2} составляющих звеньев. Согласно требованию $T'_{A_1} = T'_{A_2}$.

Каждое из полей допусков T'_{A_1} и T'_{A_2} разделено на n интервалов (рис. 3.40, б) так, что

$$\begin{aligned} T_{A_1}^I &= T_{A_1}^{II} = \dots = T_{A_1}^n; \\ T_{A_2}^I &= T_{A_2}^{II} = \dots = T_{A_2}^n; \\ T_{A_1}^I + T_{A_2}^I &= T_{A_1}^{II} + T_{A_2}^{II} = \dots = T_{A_1}^n + T_{A_2}^n = T_{A_{\Delta}}. \end{aligned}$$

Таким образом, соединение деталей, взятых из соответствующих групп, обеспечит соблюдение поля допуска $T_{A_{\Delta}}$ точно так же, как и при методе полной взаимозаменяемости.

Координата середины поля допуска замыкающего звена для первых интервалов $T_{A_1}^I$ и $T_{A_2}^I$

$$\Delta_{0_{A_{\Delta}}}^I = \Delta_{0_{A_1}}^I - \Delta_{0_{A_2}}^I;$$

для вторых интервалов $T_{A_1}^{II}$ и $T_{A_2}^{II}$

$$\Delta_{0_{A_{\Delta}}}^{II} = \left(\Delta_{0_{A_1}}^I + T_{A_1}^I \right) - \left(\Delta_{0_{A_2}}^I + T_{A_2}^I \right).$$

Поскольку $T_{A_1}^I = T_{A_2}^I$, то

$$\Delta_{0_{A_{\Delta}}}^{II} = \Delta_{0_{A_1}}^I - \Delta_{0_{A_2}}^I.$$

Для последующих интервалов полей допусков T'_{A_1} и T'_{A_2} (см. рис. 3.40, б) координата середины поля допуска замыкающего звена будет оставаться неизменной:

$$\Delta^I_{0_{A_\Delta}} = \Delta^{II}_{0_{A_\Delta}} = \dots = \Delta^n_{0_{A_\Delta}} = \Delta_{0_{A_\Delta}}.$$

Другими словами, при соединении деталей, взятых из соответствующих групп, отклонения замыкающего звена A_Δ будут находиться в пределах допуска, определяемого заданными значениями T_{A_Δ} и $\Delta_{0_{A_\Delta}}$.

Этого не произойдет, если установить $\bar{T}'_{A_1} \neq \bar{T}'_{A_2}$, но при этом соблюсти равенство $T'_{A_1} + T'_{A_2} = T'_{A_\Delta}$.

В этом случае отклонения замыкающего звена A_Δ , как и прежде, будут находиться в пределах T_{A_Δ} , так как

$$T^I_{A_1} + T^I_{A_2} = T^{II}_{A_1} + T^{II}_{A_2} = \dots = T^n_{A_1} + T^n_{A_2} = T_{A_\Delta}.$$

Однако среднее значение замыкающего звена изделий не будет оставаться постоянным при сборке их из деталей, взятых из разных соответствующих групп. Причиной тому будет изменение координаты середины поля допуска замыкающего звена с изменением номера сочетаемых интервалов T'_{A_1} и T'_{A_2} . Так, для второго интервала

$$\Delta^{II}_{0_{A_\Delta}} = \left(\Delta^I_{0_{A_1}} + T^I_{A_1} \right) - \left(\Delta^I_{0_{A_2}} + T^I_{A_2} \right) \neq \Delta^I_{0_{A_\Delta}},$$

так как $T^I_{A_1} \neq T^I_{A_2}$.

Разница в значениях координат середин полей допусков по отношению к первому интервалу будет возрастать по мере увеличения номера интервала.

Рассмотрим использование метода групповой взаимозаменяемости при решении задачи (см. рис. 3.37), заключающейся в обеспечении зазора A_Δ между торцами зубчатого колеса и проставочного кольца в редукторе.

Условия задачи: $T_{A_3} = 0,2$ мм; $\Delta_{0_{A_3}} = +0,1$ мм; $A_{\Delta} = -\bar{A}_1 + \bar{A}_2 - \bar{A}_3$.

Прежде всего необходимо установить производственный допуск замыкающего звена и число групп, на которые должны быть рассортированы детали после изготовления. Допустим, что расширение допуска T_{A_3} в 3 раза в данном случае является экономически обоснованным, в связи с чем число групп $n = 3$.

Таким образом, $T'_{A_3} = 3 \cdot T_{A_3} = 3 \cdot 0,2 = 0,6$ мм.

При расчете полей допусков должно быть соблюдено условие

$$\sum_{i=1}^k |\xi_{A_i}| \bar{T}'_{A_i} = \sum_{k+1}^{m-1} |\xi_{A_i}| \bar{T}'_{A_i}$$

Согласно этому условию $T'_{A_2} = T'_{A_1} + T'_{A_3} = 0,5T'_{A_2}$. Отсюда $T'_{A_2} = 0,5T'_{A_2} = 0,3$ мм и $T'_{A_1} + T'_{A_3} = 0,5T'_{A_2} = 0,3$ мм.

Сообразуясь со степенью сложности изготовления деталей, зададим $T'_{A_1} = 0,24$ мм и $T'_{A_3} = 0,06$ мм.

Установим значения полей допусков и координат их середин для деталей каждой группы (табл. 3.2). При расчете координат середин полей допусков первой группы было использовано уравнение

$$\Delta_{0_{A_3}} = -\Delta_{0_{A_1}} + \Delta_{0_{A_2}} - \Delta_{0_{A_1}}$$

Координаты середин полей допусков каждой следующей группы получены путем увеличения координат предшествующей группы на соответствующие поля допусков.

Две последние колонки таблицы показывают, что при соединении деталей соответственных групп точность замыкающего звена будет отвечать условиям задачи.

Предельные отклонения составляющих звеньев приведены в табл. 3.3.

3.2. Поля допусков и координаты их середин

Группа	T_{A_1}	$\Delta_{0_{A_1}}$	T_{A_2}	$\Delta_{0_{A_2}}$	T_{A_3}	$\Delta_{0_{A_3}}$	$T_{A_{\Delta}}$	$\Delta_{0_{A_{\Delta}}}$
I	0,08	-0,04	0,1	+0,05	0,02	-0,01	0,2	+0,1
II	0,08	+0,04	0,1	+0,15	0,02	+0,01	0,2	+0,1
III	0,08	+0,12	0,1	+0,25	0,02	+0,03	0,2	+0,1

Экономично использовать метод групповой взаимозаменяемости для малозвенных размерных цепей, к точности замыкающих звеньев которых предъявляются высокие требования.

Возможность значительного расширения полей допусков составляющих звеньев и доведение их до экономически достижимых значений

3.3. Предельные отклонения составляющих звеньев

Группа	A_1	A_2	A_3
I	0	+0,1	0
	-0,08	0	-0,02
II	+0,08	+0,2	+0,02
	0	+0,1	0
III	+0,16	+0,3	+0,04
	+0,08	+0,2	+0,02

делает этот метод в ряде случаев единственно приемлемым для производства высокоточных изделий (отдельных видов подшипных соединений пальцев и поршней двигателей и т.п.).

При определении экономической эффективности данного метода необходимо учитывать дополнительные расходы, необходимые для точного измерения и сортировки деталей на группы, четкой организации хранения и доставки рассортированных деталей на сборку, исключения путаницы деталей при сборке. Организационные трудности и расходы возрастают с увеличением числа звеньев в размерных цепях и групп сортируемых деталей. Этим и объясняется ограничение области применения метода для малозвенных размерных цепей и стремление иметь число n возможно меньшим.

При достижении точности замыкающего звена методом групповой взаимозаменяемости необходимо соблюдать еще некоторые условия.

Первым из них являются требования к точности формы и относительного поворота поверхностей деталей, соответствующие не производственным (расширенным) допускам на размеры, а групповым допускам, т.е. T_i' / n . Объясняется это тем, что точность замыкающего звена при методе групповой взаимозаменяемости характеризуется полем допуска T_{Δ} , а не $T_{\Delta}' = nT_{\Delta}$. Ему и должно соответствовать ограничение допусками отклонений формы и относительного поворота поверхностей деталей, образующих составляющие звенья размерной цепи.

Вторым требованием, во многом определяющим экономичность метода групповой взаимозаменяемости, является идентичность формы и расположения кривых рассеяния отклонений относительно полей допусков. Только при соблюдении этого условия будет обеспечиваться комплектность изделий (рис. 3.41, а), не будет избытка одних и нехватки других деталей в группах, т.е. случая, показанного на рис. 3.41, б.

Рис. 3.41. Влияние формы и положения кривых рассеяния на собираемость изделий

Это требование создает дополнительные трудности для изготовления деталей, которые должны не только получать допуски, но и следовать законам распределения отклонений и выдерживаемых размеров.

Метод пригонки. Сущность метода пригонки заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением размера компенсирующего звена путем удаления с него определенного слоя материала.

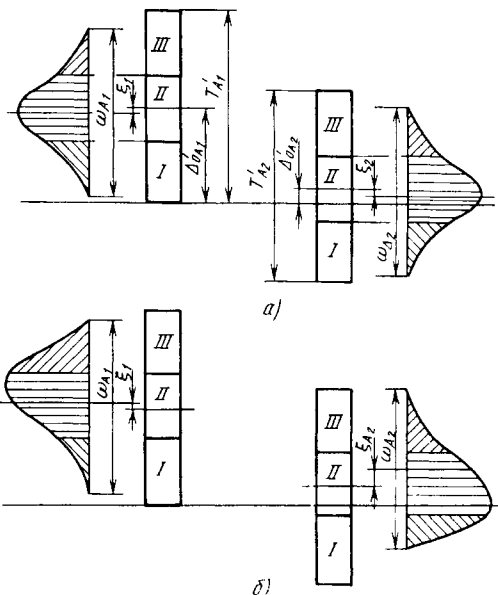
При достижении точности замыкающего звена методом пригонки на все составляющие звенья размерной цепи устанавливают целесообразно достижимые (экономичные) в данных производственных условиях допуски:

$$T'_1, T'_2, \dots, T'_{m-1}; \Delta'_{0_1}, \Delta'_{0_2}, \dots, \Delta'_{0_{m-1}}.$$

Значения полей допусков, установленные вне связи с заданным значением T_Δ поля допуска замыкающего звена, могут привести к тому, что отклонения замыкающего звена будут выходить за его пределы, т.е.

$$\sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| T'_i = T'_\Delta > T_\Delta.$$

Избыток погрешности на замыкающем звене, наибольшее значение которого называют наибольшей расчетной компенсацией $\delta_k = T'_\Delta - T_\Delta$, должен быть удален из размерной цепи путем изменения значения заранее выбранного компенсирующего звена.



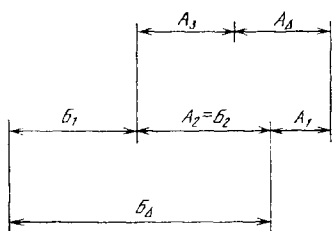


Рис. 3.42. Параллельно связанные размерные цепи

При выборе в размерной цепи компенсатора руководствуются следующими соображениями.

1. В качестве компенсатора выбирают деталь, изменение размера (являющегося одним из составляющих звеньев) которой при дополнительной обработке требует наименьших затрат.

2. Недопустимо в качестве компенсатора выбирать деталь, размер которой является общим составляющим звеном параллельно связанных размерных цепей. Нарушение этого условия приводит к возникновению погрешности, "блуждающей" из одной размерной цепи в другую. Например, если избрать компенсирующим звеном $A_2 = B_2$ в параллельно связанных размерных цепях (рис. 3.42), то, добившись требуемой точности A_1 за счет изменения значения A_2 , уже нельзя изменять значение B_2 , не нарушая точности A_1 .

Произвольное назначение значения координат середин полей допусков составляющих звеньев может привести к тому, что у компенсатора не окажется нужного запаса материала для пригонки. Для того чтобы обеспечить на компенсаторе минимально необходимый слой материала (припуск) для пригонки, и в то же время достаточный для устранения максимального отклонения замыкающего звена, в координ-

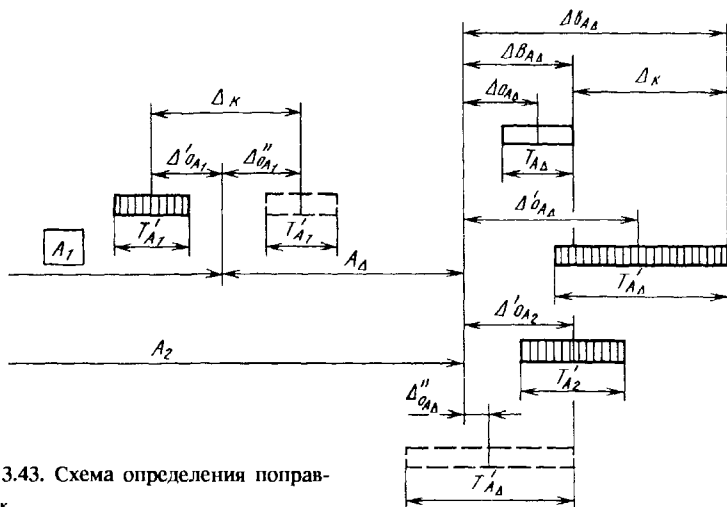


Рис. 3.43. Схема определения поправки Δ_{κ}

нату середины поля допуска компенсирующего звена необходимо ввести поправку Δ_K .

Пусть в трехзвенной размерной цепи A (рис. 3.43) требуемая точность замыкающего звена характеризуется величинами T_{A_Δ} и $\Delta_{0_{A_\Delta}}$; T'_{A_1} и T'_{A_2} — поля допусков составляющих звеньев, экономически целесообразные для данных производственных условий; $\Delta'_{0_{A_1}}$ и $\Delta'_{0_{A_2}}$ — координаты середин полей допусков.

При этих допусках отклонения замыкающего звена A_Δ возможны в пределах T'_{A_Δ} при координате середины поля допуска $\Delta'_{0_{A_\Delta}}$. Наибольшее возможное отклонение A_Δ отстоит от верхней границы T_{A_Δ} на величину Δ_K , значение которой может быть определено следующим путем:

$$\Delta'_{0_{A_\Delta}} = \Delta_{0_{A_\Delta}} + \Delta_K;$$

$$\Delta'_{0_{A_\Delta}} + 0,5T'_{A_\Delta} = \Delta_{0_{A_\Delta}} + 0,5T_{A_\Delta} + \Delta_K;$$

$$\Delta_K = 0,5(T'_{A_\Delta} - T_{A_\Delta}) + \Delta'_{0_{A_\Delta}} - \Delta_{0_{A_\Delta}}.$$

Отсюда $\Delta_K = 0,5\delta_K + \Delta'_{0_{A_\Delta}} - \Delta_{0_{A_\Delta}}$.

Если в качестве компенсирующего выбрать уменьшающее составляющее звено A_1 , то для обеспечения необходимого припуска на пригонку надо в координату $\Delta_{0_{A_1}}$ ввести поправку Δ_K , придав T'_{A_1} положение, показанное на рисунке штриховыми линиями и характеризуемое координатой $\Delta''_{0_{A_1}}$. Новое значение координаты $\Delta'_{0_{A_1}}$ изменит положение T'_{A_Δ} , приведет к совмещению его верхней границы с верхней границей T_{A_Δ} и обеспечит минимальный припуск на пригонку.

Обобщая рассмотренный случай и распространяя выводы на размерные цепи с любым числом составляющих звеньев, можно записать, что

$$\Delta_{\kappa} = 0,5\delta_{\kappa} + \sum_{i=1}^{m-1} \xi \Delta'_{0_i} - \Delta_{0_{\Delta}}.$$

Отметим, что для устранения недостатка (излишка) припуска на компенсирующем звене, если оно уменьшающее, поправку Δ_{κ} вносят в координату середины его поля допуска со своим знаком. Если компенсирующим является увеличивающее звено, то поправку Δ_{κ} вносят в координату его середины поля допуска со знаком, обратным полученному при вычислении.

Продолжим решение задачи, приведенной выше на рис. 3.36, применив для достижения требуемой точности замыкающего звена метод пригонки.

Выберем в качестве компенсирующего составляющее звено A_3 — проставочное кольцо, толщину которого проще всего изменить.

Установим на составляющие звенья экономически целесообразные поля допусков и зададим координаты, мм, середин полей допусков, приведенные ниже:

Звено	T'_{A_i}	$\Delta'_{0_{A_i}}$
A_1	0,3	-0,15
A_2	0,4	+0,20
A_3	0,1	+0,25

При этих значениях T'_{A_i} отклонения замыкающего звена

$$T'_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} T'_{A_i} = 0,3 + 0,4 + 0,1 = 0,8 \text{ мм.}$$

Наибольшая возможная компенсация

$$\delta_{\kappa} = T'_{A_{\Delta}} - T_{A_{\Delta}} = 0,8 - 0,2 = 0,6 \text{ мм.}$$

Для того чтобы компенсатор имел необходимую для пригонки толщину, в координату середины поля допуска звена A_3 следует ввести поправку

$$\begin{aligned} \Delta_{\kappa} &= 0,5\delta_{\kappa} + \sum_{i=1}^{m-1} \xi_{A_i} \Delta'_{0_{A_i}} - \Delta_{0_{A_{\Delta}}} = \\ &= 0,5 \cdot 0,6 + (0,15 + 0,2 - 0,25) - 0,1 = 0,3 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Поскольку компенсирующим является уменьшающее составляющее звено, то поправка Δ_{κ} должна быть введена в координату середины его поля допуска со своим знаком. Поэтому следует установить

$$\Delta'_{0_{A_3}} = 0,25 + 0,3 = 0,55 \text{ мм.}$$

Основным преимуществом метода пригонки является возможность изготовления деталей с экономичными для данных производственных условий допусками. При этом точность замыкающего звена оказывается независимой от точности деталей. Она определяется точностью выполнения пригоночных работ и используемых средств контроля. Методом пригонки может быть обеспечена высокая точность замыкающего звена.

Однако пригоночные работы в основном выполняют вручную и требуют высококвалифицированного труда. Сложность пригоночных работ заключается в том, что в их ходе необходимо в комплексе обеспечить точность формы, относительного поворота дополнительно обрабатываемых поверхностей деталей и расстояния между ними. Упущение одного из показателей точности обычно приводит к потере качества изделия, часто невозможной.

Существенным недостатком метода пригонки являются значительные колебания затрат времени при ее выполнении из-за разных припусков. Это затрудняет нормирование пригоночных работ и выполнение сборки с установленным тактом. По этой причине пригонку не рекомендуется применять при изготовлении изделий поточными методами. Экономичной областью использования метода пригонки считается мелкосерийное и единичное производство. Хотя не редки случаи, когда метод пригонки из-за своих высоких точностных возможностей оказывается единственно пригодным для обеспечения требуемой точности изделий, производимых в значительных количествах.

Метод регулирования. Сущность метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением размера компенсирующего звена без удаления материала с компенсатора.

Принципиально в своей сущности метод регулирования аналогичен методу пригонки. Различие между ними заключается в способе изменения размера компенсирующего звена. При методе регулирования это изменение может осуществляться двумя путями: изменением положения одной из деталей изделия на величину излишнего отклонения

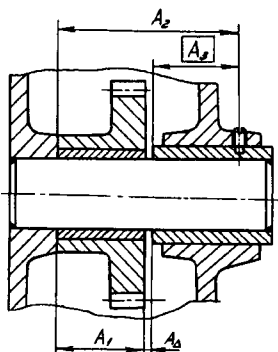


Рис. 3.44. Достижение точности зазора A_{Δ} с применением подвижного компенсатора

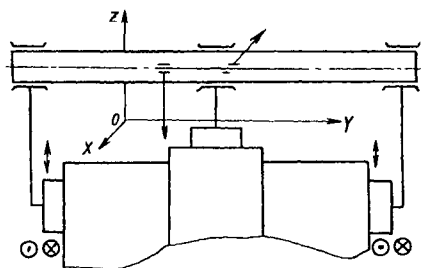


Рис. 3.45. Достижение параллельности оси вала поверхностям основания с применением подвижных компенсаторов

замыкающего звена; введением в изделие специальной детали, имеющей требуемый линейный или угловой размер.

В первом случае компенсатор называют подвижным, во вто-

ром — неподвижным. Примером подвижного компенсатора может быть втулка в редукторе (рис. 3.44), перемещая которую в осевом направлении, можно регулировать зазор A_{Δ} между ее торцом и торцом шестерни, сидящей на валу. При достижении требуемой точности зазора положение втулки фиксируют стопорным винтом.

Роль подвижных компенсаторов в машинах могут исполнять специальные устройства, нередко действующие автоматически. К их числу относятся всевозможные корректирующие механизмы, устройства адаптивного управления и пр.

Методом регулирования достаточно просто можно решать задачи придания требуемого углового положения детали в машине. На рис. 3.45 приведена конструкция, позволяющая обеспечивать методом регулирования параллельность оси вала горизонтальной и одной из вертикальных координатных плоскостей. Вал устанавливают в средней опоре, а затем на его концах монтируют крайние опоры. Имея возможность перемещаться в направлении осей X и Z , крайние опоры выполняют роль подвижных компенсаторов. Перемещая их, добиваются требуемой параллельности оси вала поверхностям XOY и YOZ , а затем положение опор фиксируют крепежными винтами и контрольными штифтами.

В качестве неподвижных компенсаторов используют проставочные кольца, прокладки и другие детали несложной конструкции. Если для достижения требуемой точности замыкающего звена A_{Δ} (см. рис. 3.37) применить метод регулирования, роль неподвижного компенсатора могло бы выполнить проставочное кольцо (звено A_3). Группы компенсаторов разных размеров в определенном диапазоне должны быть изготовлены заранее. Обеспечение требуемой точности зазора A_{Δ} в этом случае свелось бы к измерению расстояния между торцами шестерни и бобышки корпуса в предварительно собранном редукторе, выбору компенсатора надлежащего размера и установке его в редуктор при окончательной сборке.

Допуски при методе регулирования назначают так же, как при методе пригонки: устанавливают экономически приемлемые для данных производственных условий поля допусков $T_1', T_2', \dots, T_{m-1}'$ и координаты $\Delta_{0_1}', \Delta_{0_2}', \dots, \Delta_{0_{m-1}}'$ их середин.

При применении подвижного компенсатора определяют δ_k , которое учитывают при разработке конструкции подвижного компенсатора и определении его разрешающей способности.

При применении неподвижного компенсатора приходится считаться с тем, что неподвижный компенсатор не в состоянии скомпенсировать собственное отклонение. Поэтому в проводимых расчетах допуск, ограничивающий отклонения компенсирующего звена, учитывать нельзя:

$$T_{\Delta}'' = \sum_{i=1}^{m-2} |\xi_i| T_i'; \quad \Delta_{0_{\Delta}}'' = \sum_{i=1}^{m-2} \xi_i \Delta_{0_i}'$$

где $m - 2$ означает, что при суммировании значения T_k' и Δ_{0_k}' компенсатора не учтены. Следовательно, $\delta_k = T_{\Delta}'' - T_{\Delta}$.

Далее необходимо определить число ступеней компенсаторов и их размеры.

Число ступеней компенсаторов

$$N = T_{\Delta}'' / (T_{\Delta} - T_k')$$

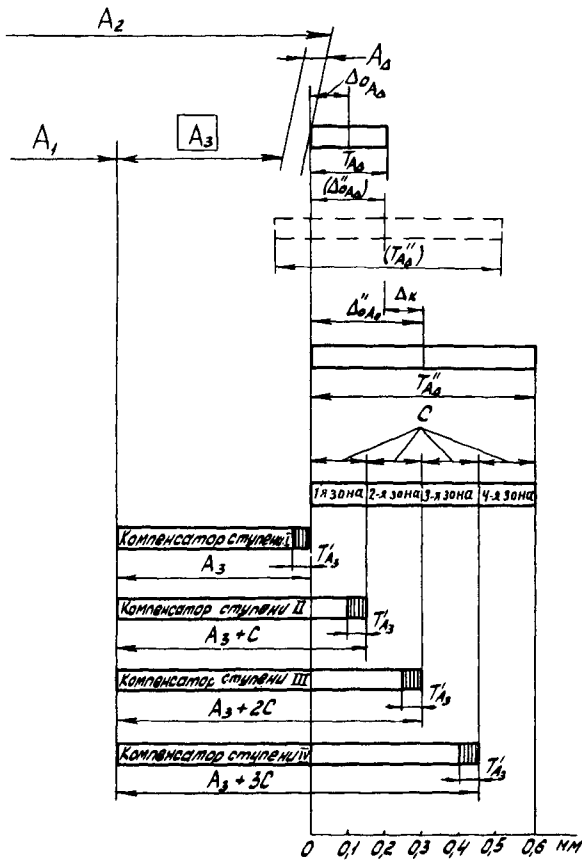
где T_k' — поле допуска, ограничивающее отклонения размера компенсатора.

Для пояснения подхода к определению размеров компенсаторов каждой ступени воспользуемся задачей, рассмотренной на рис. 3.37.

На рис. 3.46 представлена размерная цепь A , в которой A_{Δ} — зазор между торцами проставочного кольца и бобышки корпуса редуктора, A_3 — компенсирующее звено, $T_{A_{\Delta}}$ и $\Delta_{0_{A_{\Delta}}}$ — соответственно поле допуска и координата середины поля допуска замыкающего звена, заданные условиями задачи.

Произвольный выбор координат $\Delta_{0_{A_i}}'$ середин полей допусков $m - 2$ составляющих звеньев может привести к расположению

Рис. 3.46. Определение размеров неподвижных компенсаторов



допуска T_{A_Δ}'' относительно допуска T_{A_Δ} , не удобному для определения размеров компенсаторов, например к положению, показанному на рисунке штриховыми линиями. Значительно проще определять размеры компенсаторов, имея совмещенные верхние или нижние границы допусков T_{A_Δ}'' и T_{A_Δ} .

Для совмещения одноименных границ полей допусков необходимо либо (при установленных значениях $\Delta'_{0_{A_i}}$) ввести в координату середины поля допуска одного из составляющих звеньев, но не компенси-

рующего звена, поправку Δ'_k , либо не устанавливать заранее значения $\Delta'_{0_{A_i}}$, а рассчитать их, исходя, например, из условия $\Delta''_{n_{A_\Delta}} = \Delta_{n_{A_\Delta}}$.

Следуя первым путем и желая совместить нижние границы полей допусков, в координату середины поля допуска одного из составляющих звеньев необходимо ввести поправку

$$\Delta'_k = 0,5\delta_k - \sum_{i=1}^{m-2} \xi_i \Delta'_{0_i} + \Delta_{0_{A_\Delta}}.$$

Избрав второй путь и соблюдая условие $\Delta''_{n_{A_\Delta}} = \Delta_{n_{A_\Delta}}$, будем иметь $\Delta''_{0_{A_\Delta}} - 0,5T''_{A_\Delta} = \Delta_{n_{A_\Delta}}$.

Отсюда величина $\Delta''_{0_{A_\Delta}} = \Delta_{n_{A_\Delta}} + 0,5T''_{A_\Delta}$ оказывается известной, поскольку значение $\Delta_{n_{A_\Delta}}$ задано условиями задачи, а значение T''_{A_Δ} было определено ранее. Далее обычным путем, составив уравнение координат полей допусков на основании зависимости

$$\Delta_{0_\Delta} = \sum_{i=1}^k \bar{\Delta}_{0_i} - \sum_{k+1}^{m-2} \bar{\Delta}_{0_i},$$

следует установить координаты середин полей допусков $m - 2$ составляющих звеньев.

Координату середины поля допуска компенсирующего звена устанавливают независимо от координат других составляющих звеньев. Для упрощения расчета размеров компенсаторов рекомендуется задавать координату середины поля допуска компенсирующего звена, равную половине его поля допуска со знаком минус, т.е. направлять допуск в "тело" компенсатора.

Упорядочив или рассчитав значения координат середин полей допусков и придав T''_{A_Δ} удобное положение, можно установить теперь размеры компенсаторов.

Размер компенсаторов первой ступени равен номинальному размеру компенсатора. Размер компенсаторов каждой следующей ступени будет отличаться от размера компенсатора предшествующей ступени на величину C ступени компенсации:

$$C = T_{A_{\Delta}} - T'_{\kappa}.$$

Допуск, ограничивающий отклонения компенсирующего звена, остается одним и тем же для компенсаторов всех ступеней.

На схеме, показанной на рис. 3.46, видно, как осуществляется компенсация отклонений, находящихся в четырех зонах $T''_{A_{\Delta}}$, компенсаторами четырех ступеней.

Пример (см. рис. 3.37). Зададим поля допусков, считающиеся экономичными в данных условиях: $T'_{A_1} = 0,2$ мм, $T'_{A_2} = 0,4$ мм, $T'_{A_3} = 0,05$ мм.

Поскольку в размерной цепи A компенсирующим является звено A_3 , то компенсации подлежат отклонения звеньев A_1 и A_2 . В соответствии с этим

$$T''_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-2} |\xi_{A_i}| T'_{A_i} = 0,2 + 0,4 = 0,6 \text{ мм};$$

$$\delta_{\kappa} = T''_{A_{\Delta}} - T'_{A_{\Delta}} = 0,6 - 0,2 = 0,4 \text{ мм}.$$

Число ступеней компенсаторов

$$N = T''_{A_{\Delta}} / (T'_{A_{\Delta}} - T'_{\kappa}) = 0,6 / (0,2 - 0,05) = 4.$$

Рассчитаем координаты середин полей допусков, соблюдая условие $\Delta''_{n_{A_{\Delta}}} = \Delta_{n_{A_{\Delta}}}$,

$$\Delta_{n_{A_{\Delta}}} = \Delta''_{0_{A_{\Delta}}} - 0,5 T''_{A_{\Delta}}.$$

Откуда $\Delta''_{0_{A_{\Delta}}} = \Delta_{n_{A_{\Delta}}} + 0,5 T''_{A_{\Delta}} = 0 + 0,5 \cdot 0,6 = 0,3$ мм.

Таким образом, $\Delta''_{0_{A_{\Delta}}} = -\Delta'_{0_{A_1}} + \Delta'_{0_{A_2}} = 0,3$ мм. Установим $\Delta'_{0_{A_1}} = -0,1$ мм и $\Delta'_{0_{A_2}} = 0,2$ мм.

Независимо от $\Delta'_{0_{A_1}}$ и $\Delta'_{0_{A_2}}$ координата середины поля допуска компенсирующего звена

$$\Delta'_{0_{A_3}} = -0,5 T'_{A_3} = 0,5 \cdot 0,05 = -0,025 \text{ мм}.$$

При ступени компенсации $C = T_{A_{\Delta}} - T'_{A_3} = 0,2 - 0,05 = 0,15$ мм поле $T''_{A_{\Delta}}$ производственного допуска окажется разделенным на четыре зоны. Отклонения, возникающие в пределах той или иной зоны, должны компенсироваться путем установки проставочного кольца соответствующей ступени.

Рис. 3.47. Определение числа неподвижных компенсаторов для каждой ступени компенсации

Размер компенсаторов первой ступени равен номинальному размеру A_3 . Размеры компенсаторов каждой следующей ступени будут отличаться от предшествующей на величину S .

С учетом допуска на изготовление размеры компенсаторов будут следующие: ступень I — $A_3 - 0,05$ мм; ступень II — $(A_3 + 0,15) - 0,05$ мм; ступень III — $(A_3 + 0,30) - 0,05$ мм; ступень IV — $(A_3 + 0,45) - 0,05$ мм.

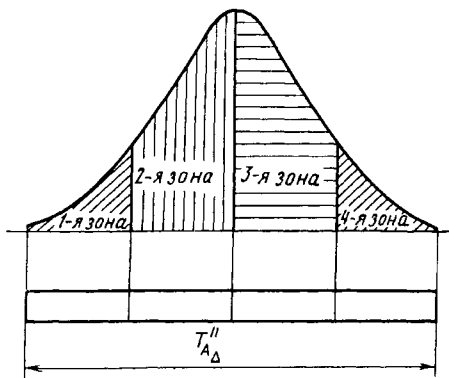
Разницу в номиналах целесообразно учесть в предельных отклонениях и установить такие размеры компенсаторов: ступень I — $A_3 - 0,05$; ступень II — $A_3 + 0,15 - 0,10$; ступень III — $A_3 + 0,30 - 0,25$; ступень IV — $A_3 + 0,45 - 0,40$.

Число неподвижных компенсаторов в каждой ступени делают одинаковым, если нет данных о законе рассеяния отклонений звена в размерной цепи, возмещаемых компенсатором. Если же такие данные есть, то число компенсаторов каждой ступени должно быть пропорциональным соответствующим площадям участков кривой рассеяния, построенной относительно T''_{A_Δ} (рис. 3.47).

Для метода регулирования характерны следующие преимущества.

1. Возможно достижение любой степени точности замыкающего звена при целесообразных допусках на все составляющие звенья.
2. Не требуется больших затрат времени на выполнение регулировочных работ, которые могут быть выполнены рабочими невысокой квалификации.
3. Не создается сложностей при нормировании и организации сборочных работ.
4. Обеспечивает машинам и механизмам возможность периодически или непрерывно и автоматически сохранять требуемую точность замыкающего звена, теряемую вследствие изнашивания, теплового и упругого деформирования деталей и других причин.

Преимущества метода регулирования особо ощутимы в многозвенных размерных цепях. Введение в конструкцию машин и механизмов компенсаторов облегчает обеспечение точности замыкающих звеньев не только в процессе изготовления, но и в процессе эксплуатации машин, что положительно отражается на их качестве и экономичности.



Завершая рассмотрение методов достижения требуемой точности замыкающего звена, отметим, что теоретико-вероятностные расчеты, присущие методу неполной взаимозаменяемости, могут быть с успехом применены в методах групповой взаимозаменяемости, пригонки и регулирования. Например, суммирование значений производственных полей допусков по формуле (3.8) приведет к меньшему значению δ_k , а в конечном счете — к меньшему числу ступеней компенсаторов и повышению экономической эффективности метода регулирования, хотя это и будет связано с некоторым риском.

Контрольные вопросы

1. Каким путем обеспечивается состояние покоя твердого тела относительно избранной системы координат?
2. Как характеризуется положение твердого тела относительно избранной системы прямоугольных координат?
3. Что такое база, комплект баз, опорная точка?
4. Как в реальной жизни осуществляется наложение связей на деталь машины или заготовку детали?
5. Как классифицируются базы?
6. Назвать три типовые схемы базирования заготовки или изделия.
7. Что такое размерная цепь?
8. Перечислить виды звеньев размерных цепей и указать различия между ними.
9. Как классифицируют размерные цепи?
10. Каковы правила выявления конструкторских, технологических и измерительных размерных цепей?
11. Как рассчитывают поля допусков по методу максимум—минимум?
12. Как рассчитывают поля допусков вероятностным методом?
13. Как рассчитываются координаты середин полей допусков?
14. Как рассчитываются размерные цепи со звеньями, расположенными под углом к выбранному направлению?
15. В чем сущность метода полной взаимозаменяемости? Объяснить методику расчета допусков.
16. В чем сущность метода неполной взаимозаменяемости? Объяснить методику расчета допусков.
17. В чем сущность метода групповой взаимозаменяемости? Объяснить методику расчета допусков.
18. В чем сущность метода пригонки? Объяснить методику назначения допусков.
19. В чем сущность метода регулирования? Объяснить методику расчета допусков.

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ МНОЖЕСТВ СВЯЗЕЙ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИНЫ

Любую машину создают для выполнения конкретного технологического процесса или совокупности технологических процессов. Свое предназначение машина в состоянии осуществлять, если будет обладать надлежащим качеством и будет экономичной.

Обеспечение качества машины, строго говоря, начинается с формулирования ее служебного назначения, т.е. с определения и описания задач, которые должна решать или в решении которых должна участвовать машина, условий, в которых ей предстоит работать, требуемого технико-экономического уровня и т.д.

Цель проектирования состоит в создании конструкции машины, обеспечивающей качественное и экономичное исполнение машиной всех функций, предписанных ее служебным назначением.

Конструкция машины представляет собой сложную систему двух множеств связей — свойств материалов и размерных связей. Поэтому процесс проектирования машины можно рассматривать как построение такой системы связей и наделение этой системы совокупностью свойств, обеспечивающих соответствие машины своему служебному назначению. Для этого в процессе проектирования должна быть реализована органическая связь свойств материалов деталей, составляющих машину, формы, размеров, относительного положения их поверхностей и положения самих деталей с показателями служебного назначения машины. Доброкачественность такой связи и определяет качество конструкции машины.

Отсюда становится понятной важность правильного определения служебного назначения машины. Какие-то упущения или неточности в его формулировке могут привести к тому, что машина безупречной конструкции при высоком качестве изготовления в действительности оказывается неспособной эффективно осуществлять технологический процесс, хотя была создана для него.

Таким образом, началом формирования качества машины является определение и описание ее служебного назначения. Задача обеспечения качества машины в процессе ее проектирования сводится к установлению соответствия конструкции машины ее служебному назначению.

4.1. ФОРМУЛИРОВАНИЕ СЛУЖЕБНОГО НАЗНАЧЕНИЯ МАШИНЫ

В формулировке служебного назначения машины, прежде всего, должна быть отражена общая задача, для решения которой создается машина. Далее следует расшифровка задачи, конкретизирующая назначение машины, условия эксплуатации и содержащая требования, обуславливающие ее соответствие в техническом, экономическом, эргономическом и эстетическом смысле современному уровню.

Служебное назначение машины описывают не только словесно, но и составляют систему количественных показателей с ограничениями допусками возможных отклонений от их номинальных значений. Наибольшую сложность в формулировании служебного назначения машины составляет конкретизация ее функций и условий работы, правильное определение значений показателей и допусков, ограничивающих их отклонения. Глубина проработки вопроса и обоснованность принимаемых при этом решений во многом, если не в основном, определяют возможность создания качественной и экономичной машины.

При уточнении служебного назначения машины могут быть использованы следующие источники.

1. Подробные данные о свойствах продукции (вид, материал, размеры, масса, требования к качеству и т.д.), для выпуска которой создают машину.

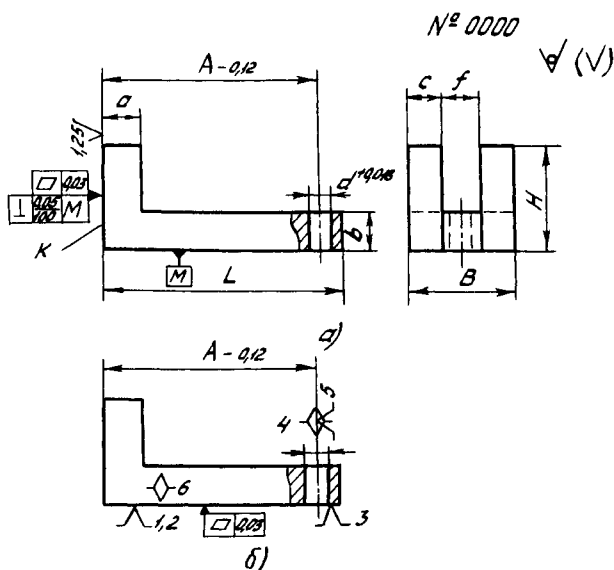
2. Данные о количественном выпуске продукции в единицу времени и по неизменяемым чертежам.

3. Требования к стоимости продукции.

4. Данные об исходном продукте (вид, качество, количество и т.д.).

5. Сведения о технологическом процессе изготовления продукции. Например, если создаваемая машина — станок, то должны быть указаны требуемое положение заготовки в рабочем пространстве станка, схема ее базирования, размеры обрабатываемых поверхностей, способ и режимы обработки, применяемый режущий инструмент, затраты времени на выполнение операции и др.

Рис. 4.1. Чертеж (а) и схема базирования (б) детали, подлежащей изготовлению на специальном станке



6. Требования к производительности машины.

7. Условия, в которых должен осуществляться технологический процесс (температура, влажность, запыленность окружающей среды, наличие активных химических веществ и т.д.).

8. Требования к надежности машины.

9. Требования к долговечности машины.

10. Требуемый уровень механизации и автоматизации.

11. Условия, гарантирующие удобство управления машиной, безопасность работы и обслуживания.

12. Требования к внешнему виду.

13. Вид, качество и источник потребляемой энергии и т.д.

Перечисленные направления конкретизации служебного назначения машины нельзя считать полными. Мир машин настолько широк и настолько разнообразны их функции, что формулировка служебного назначения каждой машины сугубо индивидуальна, специфична и имеет свою систему показателей.

Пример. Требуется сформулировать служебное назначение станка, создаваемого для обработки поверхности К детали, чертеж которой дан на рис. 4.1, а.

В табл. 4.1 приведены источники уточнения служебного назначения станка и данные, составленные заказчиком (потребителем) станка.

Используя данные табл. 4.1, можно сформулировать служебное назначение станка примерно так.

Специальный горизонтально-фрезерный полуавтомат предназначен для фрезерования стоек у детали № 0000, имеющей габаритные размеры L , B , H и размеры H , с обрабатываемых поверхностей, материал СЧ18, масса 5 кг.

Станок должен обеспечивать расстояние A с допуском 0,12 мм, отклонение от перпендикулярности поверхности K к основанию не более 0,05 мм на длине 100 мм, отклонение от плоскостности поверхности K не более 0,03 мм, параметр шероховатости $Ra = 1,25$ мкм.

Указанная точность детали должна быть обеспечена при базировании заготовки по схеме, показанной на рис. 4.1, б, при условии, что заготовка прошла предварительную обработку и имеет отклонения поверхности M от плоскостности не более 0,03 мм и диаметра d отверстия не более 0,018 мм. Допустимая погрешность установки заготовки в направлении размера A — в пределах 0,04 мм.

4.1. Сведения, уточняющие служебное назначение станка

Источник	Уточняющие данные	Использование данных при проектировании станка, приспособления, инструмента
Данные о продукции	Деталь корпусная. Материал СЧ18. Габаритные размеры L , B , H . Масса 5 кг Требуемая точность: $A_{-0,12}$ мм; допустимые отклонения поверхности K от плоскостности 0,03 мм, от перпендикулярности 0,05/100 мм относительно поверхности M , параметр шероховатости $Ra = 1,25$ мкм	Размеры станка, приспособления Геометрическая точность станка, приспособления, фрезы
Количественный выпуск	Объем выпуска 2 500 000 шт/год. Размер серии 15 000 000 шт.	Производительность и долговечность станка
Стоимость продукции	Себестоимость операции не более 3,2 руб.	Стоимость станка
Исходный продукт	Литая заготовка, прошедшая предварительную обработку	
Технологический процесс	Схема базирования заготовки и точность поверхностей баз показаны на рис. 4.1, б Погрешность установки заготовки в направлении размера A не более 0,04 мм	Горизонтальное положение шпинделя Материал, точность базирующих элементов приспособления

Источник	Уточняющие данные	Использование данных при проектировании станка, приспособления, инструмента
<p>Условия производства</p> <p>Требования к производительности</p> <p>Требования к надежности</p> <p>Требования к долговечности</p> <p>Уровень механизации и автоматизации</p> <p>Требования техники безопасности и эргономики</p> <p>Энергия</p>	<p>Размеры B, H обрабатываемой поверхности. Припуск на обработку $1,5^{+1,0}_{-0,5}$ мм Твердость материала — 180... 220 НВ. Инструмент — фреза. Режимы обработки: $v = 140$ м/мин, $S_z = 0,15$ мм/зуб.</p> <p>Допустимый размерный износ фрезы 0,1 мм за 10 смен работы</p> <p>Температура заготовок 15 — 30 °С. Допустимое смещение центра группирования $M(x)_A$ из-за тепловых деформаций технологической системы равно 0,3 мм</p> <p>Температура воздуха в цехе 20 ± 5 °С. Запыленность чугунной пылью 4 мг/м³</p> <p>90 деталей в 1 ч</p> <p>Не более одного отказа на протяжении 6 мес. работы</p> <p>$\frac{\text{Размер серии}}{\text{Объем выпуска}} \geq 6$ лет</p> <p>Полуавтомат специальный</p> <p>Уровень шума — не более 70 дБ. Органы управления — на высоте 1 — 1,2 м</p> <p>Напряжение электрической сети 350^{+50}_{-70} В</p>	<p>Мощность двигателя, жесткость станка, приспособления, инструмента</p> <p>Материал, конструкция фрезы</p> <p>Оснащение станка автоматическим подналадчиком</p> <p>Средства защиты трущихся элементов станка и приспособления от пыли</p> <p>Конструкция станка, приспособления</p> <p>Материал и точность деталей, подверженных изнашиванию</p> <p>Конструкция станка и приспособления</p> <p>Конструкция станка и приспособления</p> <p>Тип двигателя</p>

Припуск на обработку составляет $1,5_{-0,5}^{+1,0}$ мм, твердость материала заготовки 180 — 220 НВ.

Режимы обработки: $v = 140$ м/мин, $S_z = 0,15$ мм/зуб.

Допустимый износ фрезы 0,1 мм на протяжении 10 смен работы. Допустимое смещение центра группирования $M(x)_A$ из-за тепловых деформаций технологической системы — 0,03 мм при условии, что температура воздуха в цехе 20 ± 5 °С, температура заготовок 15 — 30 °С.

Станок должен обеспечивать получение 90 деталей в 1 ч при двухсменной работе. Надежность станка — не более одного отказа на протяжении 6 мес. работы, долговечность — не менее 6 лет при запыленности воздуха чугунной пылью 4 мг/м³.

Станок должен быть безопасным и удобным при эксплуатации. Уровень шума, создаваемого станком, не должен превышать 70 дБ. Органы управления станком должны быть размещены на высоте 1 — 1,2 м.

Напряжение электрической сети — 350_{-70}^{+50} В.

Вот перечень данных, возможно не полный, конкретизирующий служебное назначение специального горизонтально-фрезерного полуавтомата. О важности этих данных можно судить хотя бы потому, в каких направлениях они будут использованы конструкторами станка, приспособления, режущего инструмента, технологами станкозавода, технологами — инструментальщиками и, наконец, технологами завода, для которого создается станок. Некоторое представление об этом дает третья графа табл. 4.1. Формулировка служебного назначения станка будет являться исходным документом в работе конструкторов и технологов, участвующих в создании и эксплуатации станка, приспособления и режущего инструмента.

Детальная формулировка служебного назначения машины создает ее первоначальный облик и делает работу создателей машины целеустремленной.

4.2. СУЩНОСТЬ ЗАДАЧИ, РЕШАЕМОЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАШИНЫ

Конструктору, приступающему к проектированию машины, из формулировки ее служебного назначения должны быть известны номинальные, средние значения и допустимые отклонения следующих групп параметров, определяющих:

1) A_i, \bar{A}_i, T_{A_i} — требования к качеству продукции; N, \bar{N}, T_N — ее количественный выпуск; C, \bar{C}, T_C — себестоимость единицы продукции;

2) B_k, \bar{B}_k, T_{B_k} — качество исходного продукта;

3) B_l, \bar{B}_l, T_{B_l} — свойства потребляемой энергии;

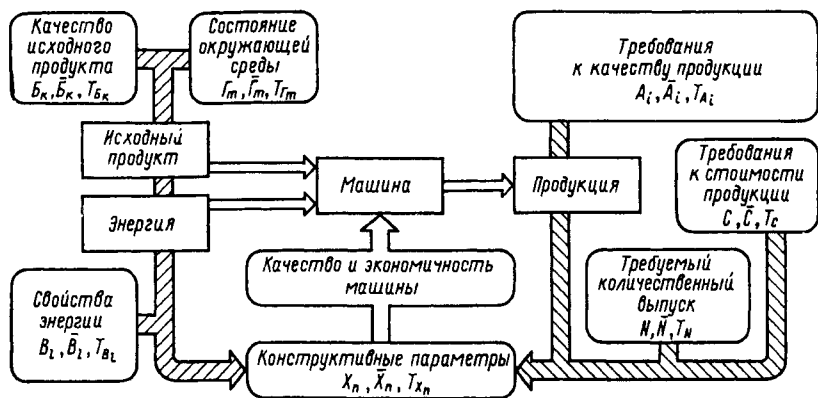


Рис. 4.2. Сущность задачи, решаемой в процессе проектирования машины

4) $\Gamma_m, \bar{\Gamma}_m, T_{\Gamma_m}$ — состояние окружающей среды.

Номинальные, средние и допустимые отклонения параметров первой группы установлены в соответствии с потребностями народного хозяйства и человеческого общества. Для удовлетворения этих потребностей и создают машину, поэтому соблюдение параметров первой группы обязательно.

Номинальные, средние значения и допустимые отклонения параметров 2 — 4 групп — это характеристики условий, в которых машине предстоит работать и производить качественную продукцию, в нужном количестве и установленной стоимости. Условия, для которых создается машина, если они правильно определены, также не могут быть изменены, так как за этим последовало бы создание машины другого назначения.

Задача проектировщика машины заключается в том, чтобы сконструировать такую машину, которая была бы способна решать свою задачу в тех условиях, которые определены технологией изготовления продукции и технико-экономическими соображениями.

Способность машины выполнять свое служебное назначение в заданных условиях обеспечивается рядом ее конструктивных свойств, характеризуемых группой параметров X_n, \bar{X}_n, T_{X_n} . К числу этих параметров относятся характеристики избранных материалов, размерных связей в машине, а также их производных (кинематики, жесткости, износостойкости, надежности отдельных элементов и машины в целом и т.д.).

Смысл проектирования машины заключается в нахождении таких значений X_n , \bar{X}_n , T_{X_n} и таком конструктивном их обеспечении, при которых машина находилась бы в соответствии с условиями, определяемыми значениями параметров 1 — 4 групп. Схема, приведенная на рис. 4.2, наглядно отображает смысл задачи, решаемой в процессе проектирования машины.

4.3. ВЫБОР ВИДОВ СВЯЗЕЙ И КОНСТРУКТИВНЫХ ФОРМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МАШИНЫ

Свое служебное назначение машина выполняет с помощью связей, действующих между ее исполнительными поверхностями, т.е. поверхностями, непосредственно осуществляющими технологический процесс.

Во время работы машины между ее исполнительными поверхностями могут действовать размерные, кинематические, динамические, гидравлические, пневматические, электрические, магнитные, световые, звуковые и другие виды связей.

Проектирование машины начинается с выбора такого сочетания связей, которое позволит машине осуществить требуемый технологический процесс наиболее экономично. Требуемые виды связей исполнительных поверхностей машины выбирают в соответствии с ее служебным назначением.

Например, токарный станок предназначен для обработки заготовок деталей типа тел вращения. Для того чтобы обработать заготовку, необходимо задать относительное положение заготовки и режущего инструмента, осуществить относительное движение режущего инструмента и обрабатываемой заготовки, создать силы, необходимые для осуществления процесса резания материала. Таким образом, в токарном станке должны быть созданы размерные, кинематические и динамические связи.

Необходимость в дополнительных связях, с помощью которых должны быть реализованы непосредственные связи исполнительных поверхностей, возникает в процессе конструирования машины.

Вид и форму исполнительных поверхностей машины устанавливают, исходя из ее служебного назначения и в результате совокупного рассмотрения вида и характера необходимых связей, выявленных ранее.

Большую роль при решении этой задачи играет так называемая конструкторская преемственность, под которой понимают использова-

ние предшествующего опыта машиностроения данного и смежного профилей. Изучая накопленный опыт и отдавая ему должное, не следует, однако, отказываться и от попыток найти принципиально новые, более удачные решения или возродить по каким-либо причинам отвергнутые старые, могущие оказаться полезными в данном случае. Успешное решение задачи по выбору исполнительных поверхностей машины во многом зависит от того, как глубоко удастся представить их функции и сочетать исполнение этих функций меньшим числом поверхностей.

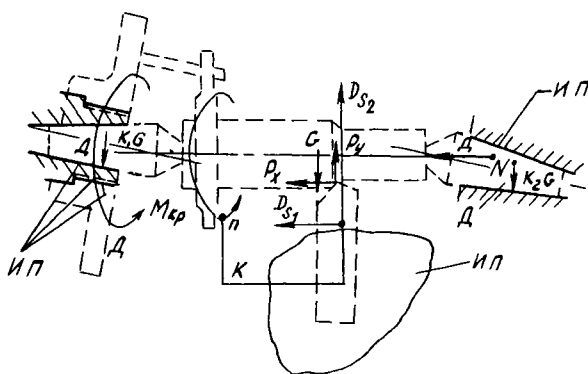
Проследим рассуждения конструктора нового токарного станка при разработке конструктивных форм его исполнительных поверхностей.

Служебное назначение станка — обработка заготовок деталей типа тел вращения — требует наличия вращательного движения либо заготовки относительно режущего инструмента, либо инструмента относительно заготовки, а также прямолинейного движения одного относительно другого. Большая универсальность станка, как показывает опыт, достигается при вращающейся заготовке и прямолинейном движении резца. При выборе характера кинематической связи приходят к решению, что исполнительные поверхности станка, определяющие положение заготовки на станке, должны быть поверхностями вращения, а для определения положения резца удобнее использовать плоские поверхности.

Чаще всего не удается установить заготовку непосредственно на исполнительные поверхности станка. Для этой цели приходится применять дополнительные устройства (приспособления). В качестве таковых используют центры, планшайбы и патроны. Наиболее простое решение в определении положения центров дают конические поверхности. Для базирования планшайбы с поводком, а также

Рис. 4.3. Исполнительные поверхности токарного станка и связи между ними:

ИП — исполнительные поверхности; К — кинематическая связь; Д — элементы динамической связи; G — масса заготовки; D_{S_1} , D_{S_2} — движения продольной и поперечной подачи; n — частота вращения; $M_{кр}$ — крутящий момент; N — осевая сила зажима заготовки; P_x , P_y — составляющие силы резания



патрона необходимо создать установочную и двойную опорную базы в виде плоскости и центрирующего пояска.

Выбор исполнительных поверхностей токарного станка — сочетания поверхностей шпинделя, определяющих положения переднего центра, планшайбы и патрона, поверхности конического отверстия пиноли и поверхности резцедержателя, на которую устанавливаются резцы, — был сделан с целью осуществления кинематических и размерных связей. Однако на эти же поверхности можно возложить осуществление и динамических связей, т.е. передачу сил и моментов сил, необходимых для процесса резания, сил для закрепления заготовки и т.п.

Итог проделанной работы схематично представлен на рис. 4.3. Произвольным расположением исполнительных поверхностей на схеме подчеркнут абстрактный характер их связей. Далее предстоит определить значения параметров связей и привязать исполнительные поверхности к деталям машины.

4.4. ПЕРЕХОД ОТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛУЖЕБНОГО НАЗНАЧЕНИЯ МАШИНЫ К ПОКАЗАТЕЛЯМ СВЯЗЕЙ ЕЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Целью такого перехода является установление значений показателей связей исполнительных поверхностей машины, исходя из значений показателей ее служебного назначения (требований к качеству продукции, производительности машины, условий ее эксплуатации и т.д.).

Основной путь перехода — это расчет, для проведения которого необходимы соответствующие уравнения связей:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

В данном случае функция y является одним из показателей служебного назначения машины, а аргументы x_1, x_2, \dots, x_n — показателями вида связи исполнительных поверхностей машины, от которых зависит значение y . Решение уравнения связи сводится к установлению значений аргументов, соответствующих значению функции, заданному служебным назначением машины.

Ранее в п. 2.2 был рассмотрен пример обеспечения размерными связями получения цилиндрической поверхности детали при обработке заготовки на токарном станке. Рассмотрим этот пример с точки зрения перехода от служебного назначения станка к показателям кинематических и динамических связей.

Необходимость в кинематической связи исполнительных поверхностей токарного станка, как было показано выше, вытекает из его служебного назначения и сущности процесса обработки заготовок. Для получения поверхностей вращения и плоских поверхностей деталей необходимо обеспечить вращение заготовки и прямолинейное движение режущего инструмента. В соответствии с этим исходное уравнение кинематической связи исполнительных поверхностей токарного станка будет иметь вид

$$v_S = nS,$$

где v_S — скорость подачи прямолинейного движения режущего инструмента, мм/мин; n — частота вращения шпинделя, мин^{-1} ; S — подача, мм/об.

Скорость прямолинейного движения режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки характеризует производительность станка. Требуемая производительность задается его служебным назначением. Следовательно, при установлении частоты вращения шпинделя и подачи режущего инструмента на оборот шпинделя следует исходить из требуемой служебным назначением станка величины v_S . Желание иметь v_S наибольшей сдерживается двумя факторами: стойкостью режущего инструмента, зависящей от скорости резания v , и точностью обработки, зависящей от подачи S .

При выборе значений n и S , обеспечивающих требуемое значение v_S , приходится учитывать, что:

станок предназначен для изготовления деталей, у которых диаметр обрабатываемых поверхностей может в соответствии со служебным назначением станка изменяться от d_{\min} до d_{\max} ;

требуемая точность обработки различная;

различные методы обработки, производимые на станке, требуют различных режимов.

Эти обстоятельства вынуждают создавать на токарных станках диапазоны и ряды чисел оборотов и подач, представляющие собой показатели кинематической связи исполнительных поверхностей токарного станка.

Для снятия с заготовки требуемого слоя материала необходимо приложение режущими кромками инструмента к заготовке определенной силы резания. Силы резания создаются действием динамических связей исполнительных поверхностей токарного станка.

Сила резания

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2},$$

где

$$\begin{aligned}P_z &= C_{P_z} t^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}} v^{n_{P_z}} k_{M_{P_z}}; \\P_y &= C_{P_y} t^{x_{P_y}} S^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}} k_{M_{P_y}}; \\P_x &= C_{P_x} t^{x_{P_x}} S^{y_{P_x}} v^{n_{P_x}} k_{M_{P_x}}.\end{aligned}$$

Силы резания рассчитывают исходя из наибольшей глубины резания t , наибольшей твердости материала, учитываемой коэффициентом k_M , наибольшей подачи и наименьшей скорости резания. Для расчета силы резания режимы обработки берут из формулировки служебного назначения станка.

На рис. 4.4, а дана схема составляющих силы резания, необходимых для обработки заготовки, и их реакций. Все они должны быть созданы динамическими связями исполнительных поверхностей станка. Например, составляющая P_z силы резания создается вращающим моментом M_{P_z} . Исходя из требуемого значения силы P_z , необходимо создать на исполнительных поверхностях шпинделя станка момент

$$M_{P_z} = P_z 0,5D,$$

где D — диаметр обрабатываемой поверхности заготовки.

Чтобы иметь требуемое значение P_x , необходимо иметь на исполнительных поверхностях станка, принадлежащих резцедержателю, силу подачи Q , равную P_x .

Исполнительные поверхности станка должны сообщать требуемые для процесса резания силы и моменты, а также воспринимать действие этих сил и их моментов. Например, составляющая P_y силы резания (рис. 4.4, б) разлагается на $P_{yп}$ и $P_{yз}$, возникающие на переднем и заднем центрах:

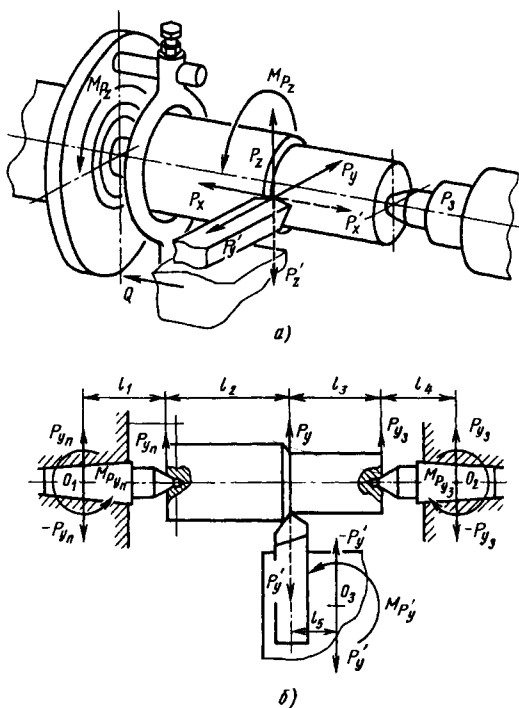
$$P_{yп} = P_y l_3 / (l_2 + l_3); \quad P_{yз} = P_y l_2 / (l_2 + l_3).$$

Действие сил $P_{yп}$ и $P_{yз}$ передается центрами на исполнительные поверхности станка — конические поверхности шпинделя и пиноли, базирующие центры. Перенос сил $P_{yп}$ и $P_{yз}$ соответственно в точки O_1 и O_2 сопровождается возникновением моментов

$$M_{P_{yп}} = P_{yп} l_1; \quad M_{P_{yз}} = P_{yз} l_4.$$

Рис. 4.4. Схема сил и моментов, обеспечивающих токарную обработку заготовки:

а — силы и моменты, действующие на заготовку; б — схема приведения составляющей P_y силы резания к исполнительным поверхностям станка



Точно так же составляющая P'_y , оказывающая непосредственно воздействие на резцедержатель, создает момент $M'_{P_y} = P'_y l_5$. Помимо сил резания исполнительные поверхности станка будут воспринимать силу веса детали G и силы ее закрепления P_3 .

Комплекс сил, необходимых для обработки заготовки, и их реакций, приведенных к исполнительным поверхностям, и будет представлять динамические связи исполнительных поверхностей токарного станка. Поскольку отклонения значений показателей служебного назначения машины ограничены соответствующими допусками, то ограничению допусками подлежат и отклонения показателей связей. Расчет допусков может быть проведен по формулам (2.1) и (2.2) по методике, изложенной в п. 2.3.

Разработка связей исполнительных поверхностей машины, необходимых для осуществления процесса резания, и нахождение численных значений их показателей дают исходные данные для следующего этапа проектирования машины — преобразования связей в машине.

4.5. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СВЯЗЕЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИНЫ

Все необходимые виды связей в машине создают с помощью деталей, имеющих определенные геометрические формы, размеры, относительное положение и изготовленных из определенных материалов. Материалы и возможность придания им нужных форм, размеров и положения — это все, чем располагает конструктор для создания требуемых связей в машине. Поэтому, проектируя машину, конструктор вынужден порой многократно осуществлять переход от одного вида связи к другому и в конечном счете сводить все виды связей, требующиеся для работы машины, к материалам деталей и размерным связям.

Для перехода от одного вида связи к другому необходимо иметь уравнение, отражающее зависимость показателя (функции) преобразуемого вида связи от показателей (аргументов) вида связи, к которому осуществляется переход. Решение уравнения связи и здесь сводится к подбору значений аргументов, удовлетворяющих значению функции.

В сложных случаях преобразование различного вида связей удобнее вести поэтапно, преобразуя в номиналах и допусках один вид связи в другой, постепенно подходя к связям свойств материалов и размерным связям.

Ниже на примере электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением от постоянных магнитов показан путь перехода в номиналах и допусках от параметров продукции машины к связям свойств материалов и размерным связям (рис. 4.5).

Электродвигатель предназначен для создания вращательного движения с частотой вращения вала $n_{\text{в}}$ (мин^{-1}) и вращающим моментом $M_{\text{вр}}$ на валу. Вращательное движение вала с определенной скоростью и вращающий момент — это продукция электродвигателя. В соответствии со служебным назначением двигателя заданы допуски $T_{n_{\text{в}}}$, $\bar{n}_{\text{в}}$ и $T_{M_{\text{вр}}}$, $\bar{M}_{\text{вр}}$.

Вращение вала электродвигателя является результатом его кинематической связи с якорем ($n_{\text{в}} = n_{\text{я}}$), а вращающий момент — динамической связи ($M_{\text{вр.в}} = M_{\text{вр.я}}$). Каждая из них осуществляется через электромагнитные связи.

Переход от кинематической связи к электромагнитной для обеспечения необходимой частоты вращения вала может быть выполнен в номиналах с помощью уравнения

$$n_{\text{я}} = Ea60 / (p\Phi N),$$

где E — электродвижущая сила в обмотке якоря, $E = U - IR_{\text{я}} - \Delta U_{\text{щ}}$, здесь U — напряжение питания электродвигателя; I — сила тока в обмотке якоря; $R_{\text{я}}$ — сопротивление обмотки якоря; $\Delta U_{\text{щ}}$ — падение напряжения на щетках; $2a$ — число пар параллельных ветвей обмотки якоря; $2p$ — число пар полюсов электродвигателя; Φ — магнитный поток в зазоре; N — число проводников обмотки якоря.

Установив номинальные значения аргументов исходя из заданного служебным назначением $n_{\text{в}}$ и используя их в качестве исходных величин, можно продолжить преобразование связей и перейти, например, от установленного сопротивления $R_{\text{я}}$ якоря к материалу, длине и сечению проводников обмотки, используя зависимость

$$R_{\text{я}} = \rho l / S,$$

где ρ — удельное сопротивление материала проводников, характеризующее свойство материала; l , S — соответственно длина и сечение проводников.

Или, воспользовавшись уравнением магнитного потока

$$\Phi = MDC / [l_i / (\mu S_{\text{ж}}) + \Delta],$$

где MDC — магнитодвижущая сила; l_i — средняя длина силовой линии; μ — магнитная проницаемость железа; $S_{\text{ж}}$ — сечение железа; Δ — воздушный зазор, можно, исходя из величины Φ , установить номинальный воздушный зазор Δ между якорем и статором, параметры характеристик свойств материала магнитов и площадь их сечения.

Для создания требуемого вращающего момента на валу двигателя необходимо перейти от заданного служебным назначением двигателя момента к электромагнитному моменту $M_{\text{эм}}$. Так как $M_{\text{эм}} = M_{\text{вр}}$, то

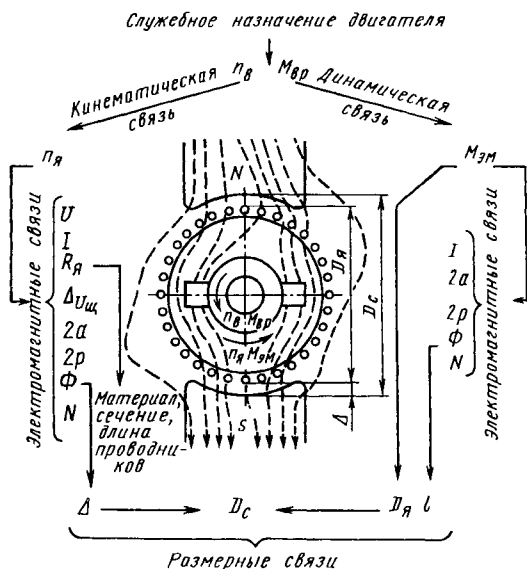


Рис. 4.5. Преобразование связей в электродвигателе

$$M_{эм} = \frac{1}{2\pi} \frac{P}{a} N\Phi$$

можно подойти к значениям уже встречавшихся ранее аргументов с позиций обеспечения требуемой динамической связи исполнительных поверхностей двигателя.

Так как $M_{эм} = 0,5D_{я}N\Phi$, то, используя уже выбранные значения N и Φ , можно установить номинальный диаметр $D_{я}$ якоря и перейти, таким образом, к другому параметру размерной связи исполнительных поверхностей двигателя. Далее можно установить необходимую активную и общую длину проводников обмотки якоря, размеры магнитов, диаметр статора, соосность якоря со статором и другие параметры электродвигателя, исходя из значений показателей электромагнитных связей.

Для установления норм точности двигателя необходимо перейти от допусков на параметры продукции двигателя к допускам на показатели размерных связей и свойств материалов. Этот переход осуществляется на основе уравнений, дающих преобразование параметров одних видов связей в другие, и зависимости допуска функции от допусков аргументов, приведенной ранее. Например, чтобы перейти от поля допуска на частоту вращения якоря двигателя к полям допусков на параметры электромагнитных связей, необходимо, исходя из его значения, установить поля допусков на аргументы, учитывая степень влияния отклонений аргументов на функцию соответствующими частными производными. Отсутствие в данном случае корреляционной связи между аргументами и выбор коэффициента $k_i = 1$, предполагающий распределение отклонений аргументов по закону Гаусса при риске в 0,27 %, позволяет получить зависимость поля допуска на частоту вращения от полей допусков на параметры электромагнитных связей в следующем виде:

$$T_{n_{я}} \geq \sqrt{\left(\frac{\partial n_{я}}{\partial \Phi}\right)^2 T_{\Phi}^2 + \left(\frac{\partial n_{я}}{\partial R_{я}}\right)^2 T_{R_{я}}^2 + \left(\frac{\partial n_{я}}{\partial \Delta U_{щ}}\right)^2 T_{\Delta U_{щ}}^2 + \left(\frac{\partial n_{я}}{\partial N}\right)^2 T_N^2}$$

Средние допустимые значения аргументов и функции находятся в следующей зависимости:

$$\bar{n}_{я} = \frac{(U - \bar{I}\bar{R}_{я} - \bar{\Delta}U_{щ}) a 60}{p\bar{\Phi}\bar{N}}$$

Для пояснения изложенного ниже приведено числовое решение этой же задачи.

Если исходить из того, что служебное назначение двигателя требует, чтобы частота вращения вала $n_a = 6240 \text{ мин}^{-1}$, то одним из частных решений уравнения, определяющего значение частоты вращения якоря n_x , могут быть следующие значения аргументов: $U = 27 \text{ В}$; $I = 0,38 \text{ А}$; $R_x = 19,5 \text{ Ом}$; $\Delta U_m = 1,5 \text{ В}$; $2a = 2$; $2p = 2$; $\Phi = 5340 \text{ Вб}$; $N = 2700 \text{ витков}$.

Если предположить, что процесс, в осуществлении которого участвует двигатель, допускает изменение $n_x = n_x$ в пределах $\pm 3\%$ его номинального значения, то $T_x = T_{n_x} = 0,06 \cdot 6240 \text{ мин}^{-1} = 376 \text{ мин}^{-1}$ при $\bar{n}_x = n_x$ и $\bar{n}_x = n_x$.

Прежде чем установить допуски на аргументы, необходимо, используя уравнение связи, определить передаточные отношения, показывающие степень влияния отклонений каждого аргумента на отклонение функции, т.е. на частоту вращения якоря электродвигателя:

$$\frac{\partial n_x}{\partial \Phi} = -\frac{Ea60}{p\Phi^2 N} = -1,2 \text{ Вб}^{-1};$$

$$\frac{\partial n_x}{\partial R_x} = -\frac{Ia60}{p\Phi N} = -160 \text{ Ом}^{-1};$$

$$\frac{\partial n_x}{\partial \Delta U_m} = -\frac{a60}{p\Phi N} = -420 \text{ В}^{-1};$$

$$\frac{\partial n_x}{\partial N} = -\frac{Ea60}{p\Phi N^2} = -2,76 \text{ виток}^{-1}.$$

Имея значения передаточных отношений, установим следующие значения полей допусков: $T_\Phi = 240 \text{ Вб}$, $T_{R_x} = 0,75 \text{ Ом}$, $T_{\Delta U_m} = 0,5 \text{ В}$, $T_N = 9 \text{ витков}$.

Поля допусков установлены правильно, так как

$$T_{n_x} = 376 = \sqrt{1,2^2 \cdot 240^2 + 160^2 \cdot 0,75^2 + 420^2 \cdot 0,5^2 + 2,76^2 \cdot 9^2}.$$

Так как среднее значение \bar{n}_x по условиям задачи равно номинальному значению n_x , то целесообразно принять средние значения аргументов, равными своим номинальным значениям.

Помимо задания требуемой точности связей в машине методом расчета, являющегося основным, в практике машиностроения используют и другие пути. Требуемая точность связей может быть установлена:

на основании экспериментов, поставленных на опытных образцах, первых экземплярах или макетах машин;

путем имитационного моделирования процесса работы машины и явлений, сопутствующих ее работе;

в результате опыта эксплуатации машин типа, аналогичного типу создаваемой;

путем логических умозаключений и на основании опыта лица, проектирующего машину.

Однако последние два пути менее надежны, чем предшествующие, так как отражают лишь то, что достигнуто в прошлом, и не могут быть избавлены от субъективности.

4.6. ЭТАПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ МАШИНЫ

Цель конструирования машины — выбор материалов с соответствующими свойствами и придание им нужных конструктивных форм, размеров, положения, т.е. построение такой системы связей, которая была бы способна качественно и экономично осуществлять предписанный процесс.

Конструирование машины обычно начинают с обеспечения в машине или машиной требуемых форм движения. Движение любой формы создается каким-то источником, поэтому прежде всего должен быть выбран источник движения.

В машинах с механической формой движения исполнительных поверхностей источником движения чаще является двигатель (электрический, гидравлический, пневматический, двигатель внутреннего сгорания и др.). Выбор вида двигателя зависит от назначения машины и поставленной задачи, законов относительного движения исполнительных поверхностей, требуемой мощности, коэффициента полезного действия, заданного служебным назначением машины, и экономичности применения. Мощность N двигателя определяют по полезной мощности $N_{\text{п}}$, заранее лимитируя потери мощности в цепи передач.

От источника к исполнительным поверхностям машины движение может быть передано с помощью различного рода связей. Поэтому следующей задачей конструирования является выбор вида связи и разработка схемы передачи движения от источника к исполнительным поверхностям машины. В машинах механического действия такая связь может быть осуществлена механическим, гидравлическим и другими путями. В случае избрания механического пути разрабатывают кинематическую схему, выявляющую состав необходимых механизмов и звеньев для преобразования и передачи движения от двигателя к исполнительным поверхностям машины. Одновременно определяют кинематические характеристики составляющих звеньев.

Далее определяют динамические нагрузки, приходящиеся на каждое звено цепи передачи движения. Например, при передаче движения механическим путем при этом учитывают нагрузки, создаваемые силами и моментами сил, необходимыми для осуществления процесса, силами трения, реакциями на опорных поверхностях, силы при пуске и торможении, инерционные нагрузки.

В результате проведенной работы становится ясной роль каждого звена в цепи передач, его характеристики и местоположение в машине. Создается возможность сформулировать служебное назначение каждого звена и реализовать его в виде детали.

На каждую деталь в машине возлагают исполнение определенных функций, вытекающих из той общей задачи, для решения которой создают машину. В своей совокупности эти функции, а также условия работы должны быть отражены и максимально уточнены в формулировке служебного назначения каждой детали.

Ниже дано несколько примеров деталей с указанием того, что должно быть включено в формулировку их служебного назначения.

Валы служат опорами для деталей, с помощью которых передаются вращательное движение и крутящие моменты. Кроме того, вал непосредственно участвует в передаче вращательного движения и крутящего момента от одного зубчатого колеса другому. В качестве уточнения служебного назначения такого вала должны быть указаны требования к точности размеров и положения вспомогательных баз, скорости движения и крутящего момента, передаваемых им.

Зубчатые колеса передают крутящий момент с одного вала на другой, передают и преобразуют скорость вращательного движения. В качестве уточнения служебного назначения зубчатых колес должны быть указаны крутящий момент, передаваемый с одного вала на другой, скорость вращения зубчатых колес и кинематические параметры.

Корпусные детали, а также станины, кронштейны и т.п. выполняют в машинах роль базирующих деталей. Поэтому в служебном назначении таких деталей должны быть, прежде всего, указаны требования к относительному положению поверхностей основных и вспомогательных баз. Помимо этого корпусные детали часто выполняют роль резервуаров, камер сгорания и т.п.

Формулировка служебного назначения детали на данном этапе проектирования машины может быть еще недостаточно полной, так как вопросы, связанные с точностью исполнения предписанных ей функций еще неясны. Поэтому в дальнейшем возможны дополнения и уточнения служебного назначения. Однако те данные, которые уже получены, достаточны для того, чтобы приступить к выбору материала и разработке конструктивных форм деталей.

Основными факторами, влияющими на выбор материала для детали, являются силы, воспринимаемые и передаваемые этой деталью, и условия работы детали в машине. Выбор материала начинают с определения группы материалов, которые в состоянии обеспечить требуемую прочность, жесткость, износостойкость, термостойкость и другие физические, химические и прочие свойства детали. Из намеченной группы материалов выбирают тот, который обеспечивает необходимое качество детали при наименьшей ее себестоимости.

Для того чтобы выбрать наиболее экономичный материал, необходимо не только учесть его стоимость, но и затраты на превращение полуфабриката в заготовку, а затем в готовую деталь. Сделать это на данном этапе создания машины можно лишь ориентировочно, так как данных для более глубокой оценки еще недостаточно. Часто в целях экономии применяют сочетание различных материалов: дешевых и дорогих.

Конструктивные формы каждой детали машины создают исходя из служебного назначения детали путем ограничения необходимого объема выбранного материала различными поверхностями и их сочетаниями. Разработку конструктивных форм начинают с деталей, несущих исполнительные поверхности машины. Затем переходят к деталям, осуществляющим в машине передачу движения, и, наконец, разрабатывают конструктивные формы базирующих деталей.

Конструктивные формы поверхностей детали рекомендуется разрабатывать в следующей последовательности:

- 1) исполнительные поверхности — поверхности, с помощью которых деталь непосредственно выполняет свое служебное назначение;
- 2) вспомогательные базы — поверхности, определяющие положение деталей, присоединяемых к данной детали;
- 3) основные базы — поверхности, определяющие в машине положение самой детали;
- 4) свободные поверхности — поверхности, свободные от прикосновения других деталей.

Детали, на которых базируются другие детали, исполняют эту часть своего служебного назначения с помощью вспомогательных баз. Вспомогательные базы таких деталей выполняют функции исполнительных поверхностей.

Рассмотрим пример разработки конструктивных форм вала редуктора (рис. 4.6, а). Вал II предназначен для передачи вращательного движения и крутящего момента от зубчатого колеса 2 к колесу 3 и определяет относительное положение этих зубчатых колес в узле.

Для того чтобы вал передавал вращательное движение и крутящий момент от колеса 2 к колесу 3, каждое из них относительно вала надо лишить шести степеней свободы. Для этого необходимо создать

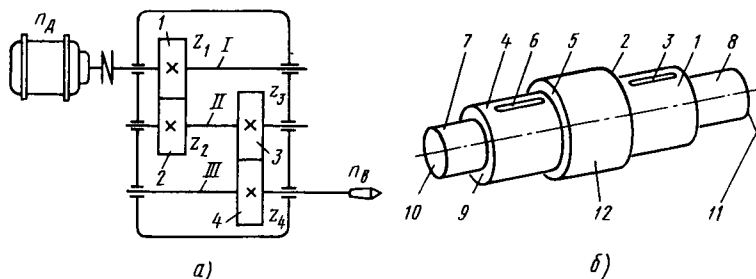


Рис. 4.6. Кинематическая схема редуктора (а) и конструктивные формы вала II (б)

два комплекта вспомогательных баз. В качестве вспомогательных баз могут быть взяты поверхности любой геометрической формы. Однако ради экономичности изготовления детали для первого комплекта вспомогательных баз целесообразно избрать в качестве двойной направляющей базы цилиндрическую поверхность 1 (рис. 4.6, б), в качестве опорной базы, лишающей зубчатое колесо перемещения вдоль оси вала, плоскую поверхность 2. Вторую опорную базу, лишающую зубчатое колесо вращения вокруг оси вала, удобнее создать с помощью промежуточной детали — шпонки, для размещения которой на валу надо предусмотреть паз 3. По аналогии с этим поверхности вала 4, 5 и 6 составят второй комплект вспомогательных баз.

Чтобы определить положение вала с сидящими на нем зубчатыми колесами относительно других деталей узла, требуется создать комплект основных баз. Так как согласно своему служебному назначению вал должен вращаться, то он должен иметь опорные поверхности, образованные вращением какой-то линии вокруг оси вала. В принципе опорные поверхности могут быть любой формы (конические, бочкообразные и т.д.), но с точки зрения экономичности изготовления детали выгоднее сделать их цилиндрическими. Две опорные цилиндрические поверхности 7 и 8 образуют основную двойную направляющую базу вала. Перемещения вдоль оси вал может быть лишен с помощью плоской поверхности 9, которая будет основной опорной базой.

Наконец, для ограничения длины вала необходимо избрать две плоские поверхности 10 и 11 и использовать цилиндрическую поверхность 12 для придания удобной формы средней части вала. Тогда объем материала окончательно примет конструктивные формы вала, являющегося звеном кинематической цепи.

Аналогичным путем разрабатывают конструктивные формы любых деталей машины.

4.7. РАЗРАБОТКА РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ В МАШИНЕ

При разработке размерных связей в машине определяют размеры поверхности деталей; относительное положение поверхностей деталей; относительное положение деталей в механизмах; относительное положение механизмов в машине. Кроме того, обеспечивают размерными связями относительное положение исполнительных поверхностей машины, требуемое ее служебным назначением.

Размерные связи обычно разрабатывают, начиная с определения размеров поверхностей деталей путем преобразования различного вида связей в размерные. Например, ряд размеров деталей устанавливают в результате преобразования кинематических связей: длины плеч рычагов, шаги резьб ходовых винтов, числа зубьев зубчатых колес и т.п. Расчеты деталей на прочность, жесткость, выносливость, износостойкость в конечном счете преследуют цель установить основные размеры поверхностей деталей исходя из их служебного назначения и свойств выбранного материала. В результате таких расчетов устанавливают, например, модули, диаметры делительных окружностей и ширину венцов зубчатых колес; диаметры шеек и длины ступеней валов; типы и размеры подшипников; размеры отверстий под опоры валов в корпусных деталях и т.д. Переход от действующих нагрузок на кинематических звеньях к размерам поверхностей деталей или размерам их сечений с учетом избранных материалов является преобразованием динамических связей в размерные.

При определении относительного положения поверхностей деталей необходимо учитывать, что положение поверхностей детали, как тела, должно быть установлено в пространстве и что деталь участвует в работе машины совокупностями поверхностей: совокупностями исполнительных поверхностей, комплектами основных и вспомогательных баз, совокупностями свободных поверхностей. Поэтому, говоря об определении относительного положения поверхностей детали, надо иметь в виду необходимость задания относительного положения поверхностей в пространстве как внутри каждой совокупности, так и самих совокупностей поверхностей.

Определение положения исполнительных поверхностей детали связано со спецификой выполняемых ими функций. Например, рабочие поверхности зубьев зубчатых колес должны занимать друг относительно друга такое положение, при котором зубчатое колесо с надлежащей точностью было бы способно передавать вращательное движение. Относительное положение рабочих поверхностей зубьев характеризуется точностью шага, направления зуба и другими пока-

зателями. Положение же зубчатого венца в целом определяют относительно основных баз зубчатого колеса, в связи с чем выдвигают требования к соосности зубчатого венца с отверстием в ступице, отсутствию перекоса оси венца в двух координатных плоскостях и др.

Положение свободных поверхностей определяют так же в соответствии с задачами, возлагаемыми на них. Например, в корпусной детали коробчатого типа ее стенка образуется сочетанием двух плоских поверхностей. Задание толщины стенки — это привязка положения одной из поверхностей к другой в их совокупности. Вместе с тем положение одной из стенок, обычно наружной, определяют относительно основных баз детали. Иногда положение совокупности свободных поверхностей необходимо задать относительно вспомогательных баз детали или ее плоскостей симметрии или определить положение одной совокупности свободных поверхностей относительно другой.

Что касается поверхностей основных и вспомогательных баз, то каждый комплект баз представляет собой прямоугольную систему координат. Поэтому увязка относительного положения поверхностей, составляющих комплект баз, сводится к определению относительного положения координатных плоскостей системы. Для определения же относительного положения комплектов баз используют правила аналитической геометрии об определении относительного положения систем координат.

К относительному положению баз, составляющих комплект, должны быть предъявлены следующие требования:

в комплекте, в состав которого входят установочная, направляющая и опорная базы (рис. 4.7, а), поверхность направляющей базы

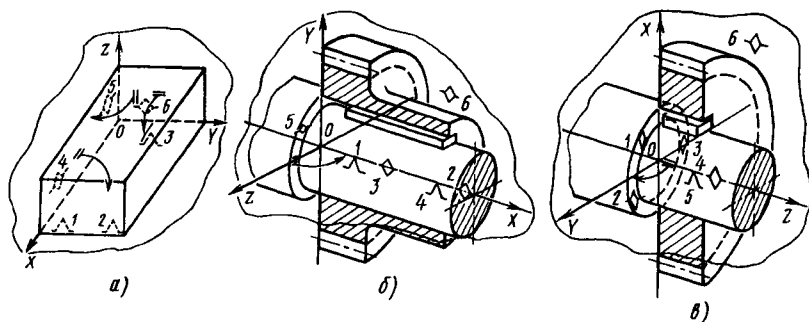


Рис. 4.7. Относительное положение поверхностей баз в комплектах:
 а — установочная, направляющая и опорная базы; б — двойная направляющая и две опорные базы; в — установочная, двойная опорная и опорная базы

должна быть перпендикулярна к установочной базе, а опорная база — перпендикулярна к установочной и направляющей базам;

в комплекте, состоящем из двойной направляющей и двух опорных баз (рис. 4.7, б), одна из опорных баз должна быть перпендикулярна к оси поверхности двойной направляющей базы; вторая опорная база должна лежать в координатной плоскости XOY , проходящей через эту ось, для чего в случае, показанном на рисунке, плоскость симметрии шпоночного соединения должна проходить через ось цилиндрической поверхности;

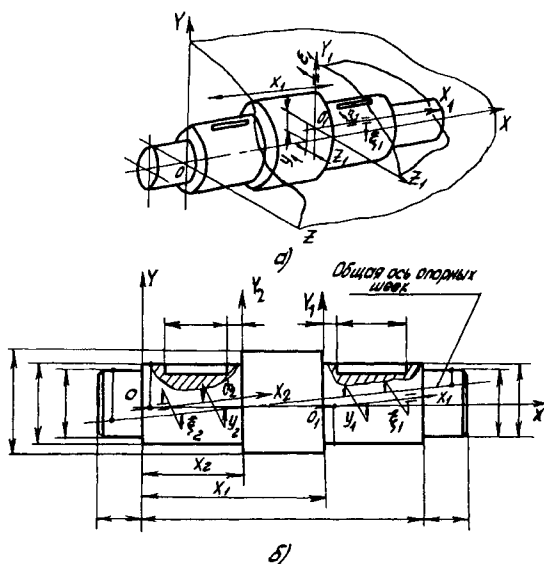
в комплекте из установочной, двойной опорной и опорной баз (рис. 4.7, в) ось поверхности, выполняющей роль двойной опорной базы, должна быть перпендикулярна к установочной базе; опорная база должна находиться в координатной плоскости XOZ . Для этого в случае, приведенном на рисунке, плоскость симметрии шпоночного соединения должна проходить через ось цилиндрической поверхности.

Деталь любого назначения имеет один комплект основных баз и столько комплектов вспомогательных баз, сколько деталей к ней должно быть присоединено. В зависимости от функций, выполняемых деталью в машине, могут быть самые различные варианты увязки относительного положения комплектов баз как координатных систем. В одних случаях оказывается необходимым за начало отсчета избрать систему координат, совмещенную с основными базами, и относительно нее задать положение систем, связанных со всеми вспомогательными базами. В других случаях необходима цепная увязка относительного положения систем координат. Часты и такие случаи, когда приходится сочетать оба метода, выбирать в качестве начала отсчета какой-то комплект вспомогательных баз, а не основных, иметь несколько начал отсчета, связанных цепным способом или имеющих общую систему отсчета.

Несмотря на многообразие вариантов увязки относительного положения комплектов баз, для данной детали возможен лишь единственно правильный вариант задания относительного положения комплектов баз, соответствующий ее функциям. Таким образом, установление относительного положения комплектов баз полностью подчинено служебному назначению детали и в соответствии с ним может быть только одновариантным.

Проиллюстрируем подход к установлению относительного положения комплектов баз на примере вала, конструктивные формы которого были разработаны в п. 4.6. В соответствии со служебным назначением вал имеет один комплект основных и два комплекта вспомогательных баз. Так как положение зубчатых колес, установленных на валу, определяется в редукторе через положение вспомогательных

Рис. 4.8. Установление размерных связей между поверхностями вала



баз относительно основных баз вала, то логично за начало отсчета избрать основные базы и систему $OXYZ$, построенную на них (рис. 4.8, а). Совместим также с одним из комплектов вспомогательных баз систему $O_1X_1Y_1Z_1$ (на рис. 4.8, а для наглядности ось O_1X_1 смещена вверх и вправо относительно оси OX).

Для того чтобы установить положение системы $O_1X_1Y_1Z_1$ относительно системы $OXYZ$, необходимо задать координаты начала O_1 , т.е. расстояния x_1, y_1, z_1 и три угла Эйлера. В данном случае можно и не пользоваться углами Эйлера, а потребовать параллельности оси O_1X_1 плоскостям XOY и XOZ , задав значения углов η_1 и ξ_1 , и определить угловое положение системы $O_1X_1Y_1Z_1$ параметром ζ_1 .

На рис. 4.8, б дана проекция вала в координатной плоскости XOY и проставлены размеры x_1, y_1 и ξ_1 . Если следовать аналогично, то положение второго комплекта вспомогательных баз в той же координатной плоскости определяют размеры x_2, y_2 и ξ_2 . Размеры, нанесенные на чертеж, и другие размеры вала непосредственно участвуют в работе редуктора (см. рис. 4.6, а). Именно эти размеры являются составляющими звеньями размерных цепей (рис. 4.9), с помощью которых решают задачи, перечисленные в табл. 4.2. При расчете этих размерных цепей определяют номинальные размеры и допуски, ограничивающие отклонения размеров от своих номинальных значений.

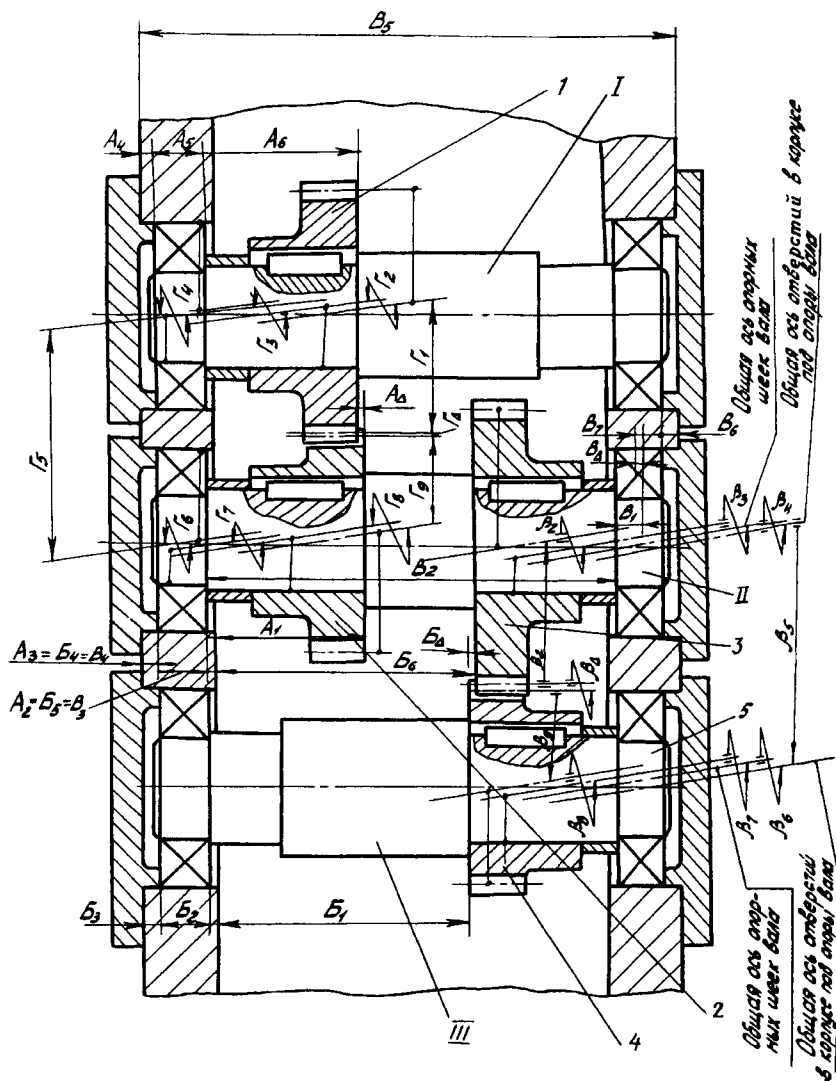


Рис. 4.9. Размерные цепи в редукторе, в которых размеры вала II являются составляющими звеньями:
 позиции те же, что и на рис. 4.6

4.2. Размеры вала, участвующие в решении соответствующих задач

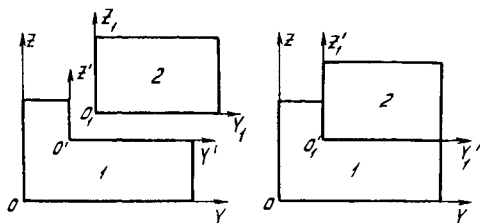
№ по пор.	Задача	Размер вала, участвующий в решении задачи
1	Совмещение A_{Δ} торцов зубчатых колес 1 и 6	$A_1 = x_2$
2	Совмещение B_{Δ} торцов зубчатых колес 4 и 7	$B_6 = x_1$
3	Создание натяга (зазора) B_{Δ} в подшипниках	B_2
4	Совмещение Γ_{Δ} делительных окружностей зубчатых колес	$\Gamma_7 = y_2$
5	Обеспечение параллельности β_{Δ} образующих делительных цилиндров зубчатых колес в одной из координатных плоскостей	$\beta_3 = \xi_1$
6	Обеспечение правильности сопряжения вала с подшипником	A_2
7	Обеспечение требуемой прочности и жесткости вала	Диаметры цилиндрических поверхностей, длина вала и его ступеней

Участие каждого размера детали в решении самостоятельной задачи, связанной с обеспечением возможности исполнения механизмом его служебного назначения, свидетельствует о независимости ее размеров друг от друга. Строгая определенность роли каждого размера указывает на то, что в соответствии со служебным назначением детали в механизме или машине возможен лишь единственный вариант простановки размеров в ее чертежах.

Важность этого вывода объясняется тем, что от правильности простановки размеров и допусков в чертеже детали прежде всего зависит ее качество. В процессе изготовления детали должны быть получены с надлежащей точностью те размеры, которыми деталь участвует в работе машины. Поэтому эти размеры должны обязательно быть на чертеже.

К сожалению, это важное положение пока не разделяют все. Высказывают мнения, например, о том, что конструктор волен в простановке размеров на чертежах или что размеры следует проставлять в соответствии с тем, как построен технологический процесс изготовления детали. Такие мнения порочны, так как заведомо ведут к получению недоброкачественных деталей, усложнению процесса сборки машины и снижению ее качества. *Все размеры на чертежах*

Рис. 4.10. Совмещение систем координат деталей в результате их соединения



нужно проставлять только исходя из служебного назначения машины и ее деталей.

Следовательно, под деталью машины следует понимать объем материала, ограниченного рядом поверхностей, расположенных одна относительно другой в соответствии со служебным назначением детали в машине.

Построение машины осуществляется путем соединения деталей в сборочные единицы и сборочных единиц между собой. Происходит это в результате соприкосновения основных баз присоединяемых деталей и сборочных единиц со вспомогательными базами базирующих деталей или сборочных единиц. Рассматривая поверхности баз как координатные плоскости, можно представить соединение деталей и сборочных единиц как совмещение систем координат. Например, присоединение детали 2 к детали 1 (рис. 4.10) идет через совмещение системы координат $O_1X_1Y_1Z_1$, построенной на основных базах детали 2, с системой координат $O'X'Y'Z'$, принадлежащей вспомогательным базам детали 1. Определение положения детали 2 относительно детали 1 равноценно определению положения системы координат $O'_1X'_1Y'_1Z'_1$ относительно системы $OXYZ$. Схематичное изображение сущности соединения деталей 1 и 2 в полной мере относится и к соединению и определению относительного положения любых сборочных единиц.

Таким образом, сущность определения относительного положения деталей в механизме и механизмов в машине заключается в установлении размерных связей между совмещенными системами координат, возникающими в стыках соединяемых деталей и сборочных единиц, и системой координат машины. Обычно координатные системы машин создаются специальными поверхностями, принадлежащими их базирующим деталям. Например, в станках роль координатных плоскостей выполняют поверхности направляющих станин. Относительно этих поверхностей, в конечном счете, и устанавливаются положение всех сборочных единиц станка.

Относительное положение исполнительных поверхностей машины обеспечивается расстояниями и относительными поворотами поверхностей баз деталей и сборочных единиц, посредством которых осуществляется связь деталей, несущих исполнительные поверхности, с базирующей деталью машины. Поскольку положение каждой из

них определяется через положение системы координат, с нею связанной, то, образно говоря, размерные связи исполнительных поверхностей машины осуществляются через "многоэтажное строение" координатных систем. Одноименные параметры положения этих координатных систем образуют размерные цепи.

4.8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ СВЯЗЕЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МАШИНЫ

Требуемая точность связей исполнительных поверхностей машины обеспечивается в процессе ее проектирования путем ограничения допусками отклонений составляющих звеньев, образующих данный вид связи. При наличии уравнения связи допуски устанавливаются в соответствии с положениями, изложенными в п. 2.3, используя формулы (2.1) и (2.2).

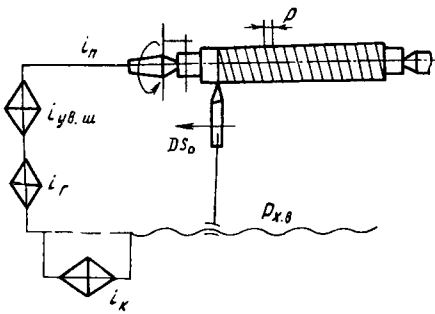
Задачу обеспечения требуемой точности размерных связей исполнительных поверхностей машины чаще всего удается решить с помощью размерных цепей с использованием одного из пяти методов достижения требуемой точности замыкающего звена. Методика выявления и расчета размерных цепей изложена в п. 3.2. Расчеты допусков могут сопровождаться преобразованием связей, так как в конструкцию машины возможность действия того или иного вида связи закладывается через связи свойств материалов и размерные связи. Покажем это на примере токарно-винторезного станка.

Одним из пунктов служебного назначения токарно-винторезного станка предусмотрена его способность нарезания резьб метрических, дюймовых, модульных, а также резьб с большим шагом. Параметром резьбы, непосредственно зависящим от кинематики станка, является шаг P . Образование шага резьбы осуществляется посредством кинематической цепи, схема которой представлена на рис. 4.11. Связь продольного перемещения резца с вращением заготовки в образовании шага резьбы при одном обороте шпинделя может быть представлена уравнением

$$P = i_{\Pi} i_{\text{ув.ш}} i_{\Gamma} i_{\text{к}} P_{\text{х.в}},$$

где i_{Π} — передаточное отношение коробки скоростей с постоянным по номиналу передаточным отношением; $i_{\text{ув.ш}}$ — передаточное отношение звена увеличения шага; i_{Γ} — передаточное отношение гитары сменных колес; $i_{\text{к}}$ — передаточное отношение коробки подач; $P_{\text{х.в}}$ — шаг ходового винта.

Рис. 4.11. Кинематическая цепь токарно-винторезного станка, обеспечивающая получение резьбы с шагом P



Служебным назначением станка заданы допуски, ограничивающие отклонения шагов резьб разных типов. Исходя из допуска T_P , обеспечение которого в станке наиболее сложно,

можно ограничить допусками отклонения передаточных отношений механизмов токарно-винторезного станка:

$$T_P = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial i_n}\right)^2 T_{i_n}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial i_{ув.ш}}\right)^2 T_{i_{ув.ш}}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial i_r}\right)^2 T_{i_r}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial i_k}\right)^2 T_{i_k}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial P_{с.в}}\right)^2 T_{P_{с.в}}^2}$$

Средние значения передаточных отношений могут быть приняты равными их номинальным значениям.

Так как каждое из передаточных отношений механизмов в свою очередь является замыкающим звеном цепи, состоящей из нескольких кинематических звеньев, то, воспользовавшись тем же методом, можно перейти к допускам на отклонения их передаточных отношений. Например, если $i_k = i_1 i_2 \dots i_n$, то, исходя из допуска T_{i_k} , можно установить допуски T_{i_1} , T_{i_2} , ..., T_{i_n} и средние значения \bar{i}_1 , \bar{i}_2 , ..., \bar{i}_n .

Определив допуск каждого кинематического звена, необходимо задать допуски на размеры кинематического звена на основе преобразования кинематических связей в размерные. Для зубчатых передач, являющихся весьма распространенными кинематическими звеньями механизмов машин, это означает определение допусков на все размерные параметры зубчатых колес, от которых зависит точность передаточного отношения зубчатой пары. Так как передаточное

отношение зубчатой передачи есть отношение радиусов основных окружностей, находящихся в зацеплении пары колес, $i_n = r_{o_2} / r_{o_1}$, то

$$T_{i_n} = \sqrt{\left(\frac{\partial i_n}{\partial r_{o_2}}\right)^2 T_{r_{o_2}}^2 + \left(\frac{\partial i_n}{\partial r_{o_1}}\right)^2 T_{r_{o_1}}^2}.$$

Таким образом можно подойти к точности размеров деталей, выполняющих в станке роль кинематических звеньев.

Любая машина представляет собой не абсолютно жесткую, а упругую систему, детали которой деформируются с возникновением нагрузок, изменением температур, под действием остаточных напряжений, возникших в деталях при изготовлении и работе. Деформации деталей не постоянны, так как не постоянно во времени по величине и направлению действие сил, их моментов, температуры, остаточных напряжений. К тому же детали машин изнашиваются. Все вместе взятое приводит к тому, что точность деталей, достигнутая при изготовлении, не остается постоянной. Во времени изменяются значения всех показателей геометрической точности деталей: размеров, расстояний, относительных поворотов, формы и параметров шероховатости поверхностей, а также относительного положения самих деталей в машине.

Изменения показателей геометрической точности и положения деталей не могут превышать тех границ, за пределами которых машина перестает соответствовать своему назначению. Поэтому при расчетах точности машины должны быть установлены допустимые границы действия каждого динамического фактора, исходя из допусков на показатели геометрической точности и положения деталей, а также предусмотрены средства, обеспечивающие действие факторов в установленных границах.

К сожалению, пока еще не разработана общая методика расчета точности машин с учетом действия динамических факторов. Расчеты ведут поэлементно (выборочно) в местах, где воздействие отдельных динамических факторов проявляется наиболее активно. Однако потребность в методике расчета точности машины, как единого целого, охватывающей весь комплекс связей в машине, ощущается все острее по мере повышения точности машин, быстроходности и действующих нагрузок.

Поскольку динамические явления в конечном счете проявляются в изменении размеров деталей, то расчет точности машины с учетом динамических явлений, очевидно, нужно основывать на теории размерных цепей и проводить неразрывно с расчетом точности размерных связей. Ниже, на конкретном примере, изложен принцип

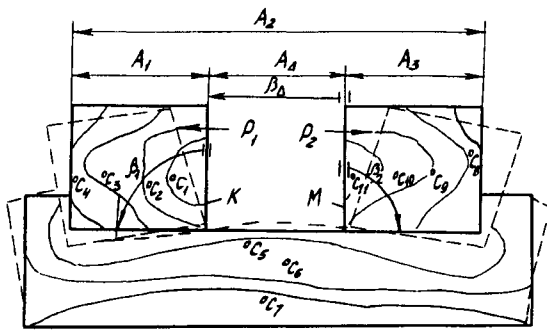


Рис. 4.12. Изменения размеров звеньев размерных цепей в работающей машине

учета динамических явлений с целью обеспечения качества машины в процессе ее проектирования.

Пусть в машине (рис. 4.12) требуется в соответствии с ее служебным назначением, чтобы на протяжении заданного срока службы ее исполнительные поверхности K и M находились на расстоянии A_{Δ} друг от друга, а отклонения размера A_{Δ} — в пределах поля допуска $T_{A_{\Delta}}$. Это требование может быть выполнено, если в работающей машине отклонения составляющих звеньев A_i размерной цепи будут находиться в пределах полей допусков T_{A_i} , установленных в результате расчета размерной цепи A :

$$T_{A_{\Delta}} \geq T_{A_1} + T_{A_2} + T_{A_3}.$$

Причинами отклонений значений составляющих звеньев могут быть погрешности изготовления и монтажа деталей, упругие перемещения, возникающие под действием рабочих нагрузок P , тепловые деформации деталей из-за нагрева и неравномерности нагрева, деформации деталей из-за перераспределения остаточных напряжений, износ деталей. Так как изменение значения каждого составляющего звена A_i допустимо лишь в пределах T_{A_i} , то частями этого допуска следует ограничить проявление каждого из перечисленных факторов. Так, если взять составляющее звено A_1 , то

$$T_{A_1} \geq T_{A_1, \text{изг}} + T_{A_1, \text{сб}} + T_{A_1, \text{у}} + T_{A_1, \text{т}} + T_{A_1, \text{о.н}} + T_{A_1, \text{изн}},$$

где частями T_{A_1} являются ограничения соответственно погрешностей изготовления детали и сборки, упругих и тепловых деформаций, деформаций из-за перераспределения остаточных напряжений и изнашивания.

Соблюдение допуска $T_{A_1\text{изг}}$ целиком связано с технологией изготовления детали. Что касается других допусков, то их обеспечение зависит как от решений, принимаемых при конструировании машины, так и от технологии ее изготовления. Не касаясь пока вопросов технологии, рассмотрим подход к обеспечению требуемой точности звена A_1 в процессе конструирования машины.

Точность размеров детали и ее положения в машине могут зависеть от того, как конструктивно будут оформлены ее основные базы и вспомогательные базы базирующей детали, какие требования предъявлены к точности поверхностей баз, как конструктивно решена задача закрепления детали. В результате расчетов контактных деформаций и деформаций самой детали под действием сил закрепления конструктор должен найти решение, обеспечивающее отклонение A_1 в процессе сборки машины в пределах $T_{A_1\text{сб}}$.

Упругие перемещения под воздействием рабочих нагрузок зависят от жесткости детали. Исходными данными для определения требуемой жесткости детали являются, с одной стороны, допуск, ограничивающий упругое перемещение в направлении размера A_1 , с другой стороны — максимальное значение P^{max} действующих сил, обусловленное служебным назначением машины и возможное во время работы на самых тяжелых режимах. Характеристикой минимально необходимой жесткости f^{min} детали явится прямая, проходящая через начало координат системы y, P и точку с координатами y^{max} и P^{max} (рис. 4.13, а). Исходя из значения f^{min} и допуска T_j , ограничивающего отклонения жесткости, конструктор должен предпринять меры по обеспечению необходимой жесткости детали.

Обеспечение тепловых деформаций детали в пределах допуска $T_{A_1\text{т}}$ связано с поддержанием температурного режима работающей машины на нужном уровне. Поскольку материал детали уже был выбран, то характеристика ее тепловых деформаций известна (рис. 4.13, б) и можно установить допустимый нагрев детали в работающей машине. Для соблюдения требуемого теплового режима в машине может оказаться необходимым оснащение машины устройствами стабилизации температуры отдельных ее частей, температурами окружающей среды и т.п.

Малоизученными и потому трудно управляемыми являются процессы деформирования деталей из-за перераспределения остаточных напряжений. Этого рода деформации опасны тем, что могут возникнуть спустя много времени после изготовления машины, когда она попадет к потребителю и будет находиться в эксплуатации. Пока основные мероприятия по борьбе с деформированием деталей из-за

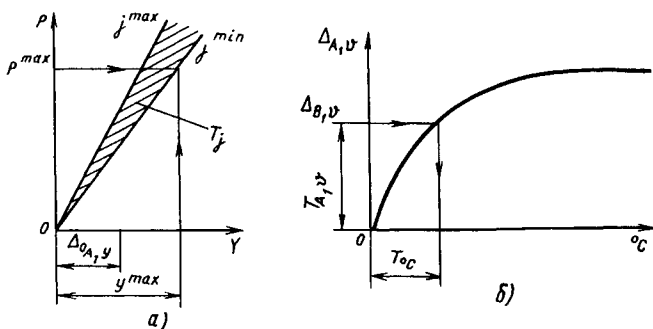


Рис. 4.13. Разработка требований к жесткости детали (а) и тепловому режиму ее работы (б)

перераспределения остаточных напряжений предпринимают в процессе изготовления деталей и сборки машины. Однако накоплено довольно много данных, полученных в результате наблюдений, о связи остаточных напряжений с конструктивными формами деталей. Например, при конструировании машин, их деталей и заготовок деталей нужно использовать рекомендации по поводу того, как путем придания тех или иных форм и размеров поверхностям деталей уменьшить концентрацию остаточных напряжений в отдельных местах.

Мерами предотвращения изнашивания деталей машины на протяжении установленного срока службы сверх заданных пределов являются следующие:

- выбор материала надлежащей износостойкости;
- конструирование разветвленной и надежной системы смазывания;
- выбор вида смазывающего материала, соответствующего условиям и режимам работы машины;
- создание защиты трущихся поверхностей деталей от проникновения пыли и грязи.

Таким образом, учет динамических явлений в процессе проектирования машины заключается не только в ограничении допусками влияния динамических факторов, но и в разработке мер, обеспечивающих их действие в установленных пределах. Эти меры могут потребовать коррекции некоторых решений, принятых на предшествующих этапах проектирования машины, и оснащения машины дополнительными устройствами.

В конце этой главы можно сделать следующие выводы. Первый этап создания машины — ее проектирование, завершается выдачей чертежей, являющихся графическим отображением конструкции

машины, т.е. системы множеств связей свойств материалов и размерных связей. Построение этой системы должно быть подчинено одной цели: наделить конструкцию машины способностью качественно и экономично осуществлять процесс, предписанный ее служебным назначением.

Второй этап — изготовление машины, является реализацией этой системы связей с помощью производственного процесса. Производственный процесс изготовления машины складывается из процессов изготовления деталей и сборки машины. Поскольку процесс сборки является завершающей стадией и во многом предопределяет технологию изготовления деталей, то логично рассматривать производственный процесс, начиная со сборки машины и с того, как при сборке реализуются связи, заложенные в конструкцию машины, и обеспечивается ее качество.

Контрольные вопросы

1. Как конкретизировать формулировку служебного назначения машины?
2. В чем заключается смысл задач, решаемых при конструировании машины?
3. Как подходят к выбору видов связей и конструктивных форм исполнительных поверхностей машины?
4. Как ведется преобразование связей в процессе конструирования машины?
5. Цель и последовательность этапов конструирования машины?
6. Что должна отражать формулировка служебного назначения детали?
7. Как выбирать материал детали?
8. На какие виды подразделяют поверхности детали?
9. Какова последовательность разработки конструктивных форм поверхностей детали?
10. Какие требования необходимо предъявить к относительному положению поверхностей детали, составляющих комплект баз?
11. Как нужно проставлять размеры на чертеже детали?
12. Как обеспечить в конструкции изделия требуемую точность размерных, кинематических и других видов связей исполнительных поверхностей?
13. Как в процессе конструирования машины учесть влияние на ее точность динамических явлений?

РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ В МАШИНЕ В ПРОЦЕССЕ СБОРКИ

Технологический процесс сборки складывается из ряда переходов, включающих соединение деталей в сборочные единицы и общую сборку машины. В процессе соединения деталей и сборочных единиц им придается требуемое относительное положение, фиксируемое тем или иным способом. При этом возможны проверки точности достигнутого положения, движения сборочных единиц и деталей и внесения поправок путем регулирования или пригонки.

К технологическому процессу сборки относят также переходы, связанные с проверкой правильности действия сборочных единиц и различных устройств, с регулированием машины и ее механизмов, с очисткой, мойкой, окраской как отдельных деталей, так и машины в целом, с разборкой машины, если ее отправляют потребителю в разобранном виде.

Процесс сборки — это заключительный этап в изготовлении машины. На нем завершают формирование связей, предписанных конструкцией машины, и определяется ее качество.

Процесс сборки нельзя рассматривать как чисто механическое соединение деталей, так как при его выполнении на детали и сборочные единицы оказываются силовые, тепловые и другие виды воздействий, а точность машины достигается с помощью технологических размерных цепей, возникающих в процессе сборки. Таким образом, определяя в конечном счете качество машины, технологический процесс сборки сам активно участвует в формировании ее качества.

Несомненно, что в процессе сборки машины свойства материала деталей, приданные им при изготовлении, не остаются неизменными. При приложении сил, нагреве (охлаждении), проведении пригоночных работ и т.д. может изменяться структура напряжений в деталях, качество поверхностных слоев и др. Но все эти явления пока мало изучены, что не позволяет описать их и сделать надлежащие выводы.

Поэтому в данной главе коснемся лишь одной стороны обеспечения качества машины при сборке, а именно реализации в машине с требуемой точностью размерных связей, предусмотренных ее конструкцией.

5.1. КОНСТРУКТОРСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

В общем случае достижение требуемой точности машины в технологическом процессе сборки осуществляется не через конструкторские, а технологические размерные цепи. По своему строению технологическая размерная цепь полностью совпадает с конструкторской, если точность замыкающего звена достигается одним из методов взаимозаменяемости: полной, неполной или групповой. При использовании методов пригонки и регулирования возникают размерные связи, отличные от тех, которые определяют точность замыкающего звена в конструкции и действующей машине.

При выполнении пригоночных и регулировочных работ применяют приспособления, контрольные устройства и другую технологическую оснастку. Своими размерами и точностью эти средства участвуют в образовании замыкающего звена. Кроме того, на точность замыкающего звена влияют погрешности установки применяемой оснастки, погрешности измерения и отклонения, возникающие непосредственно в процессе выполнения пригонки или регулирования. Все эти погрешности должны быть ограничены допусками, исходя из допуска замыкающего звена, для чего необходимо вскрыть и рассчитать технологические размерные цепи, определяющие точность замыкающего звена.

Строение технологических размерных цепей, а следовательно, и конечный результат — достигнутая точность замыкающего звена, целиком зависят от избранного способа выполнения пригоночных или регулировочных работ. Поэтому при разработке технологии сборки важно проанализировать разные варианты выполнения операций пригонки или регулирования, выявляя технологические размерные цепи по правилам, изложенным в п. 3.2. Поясним изложенное на примере редуктора, рассматривавшемся ранее.

На рис. 5.1, а изображена конструкторская размерная цепь A_{Δ} , определяющая зазор A_{Δ} между торцами шестерни и проставочного кольца в редукторе:

$$A_{\Delta} = -A_1 + A_2 - A_3.$$

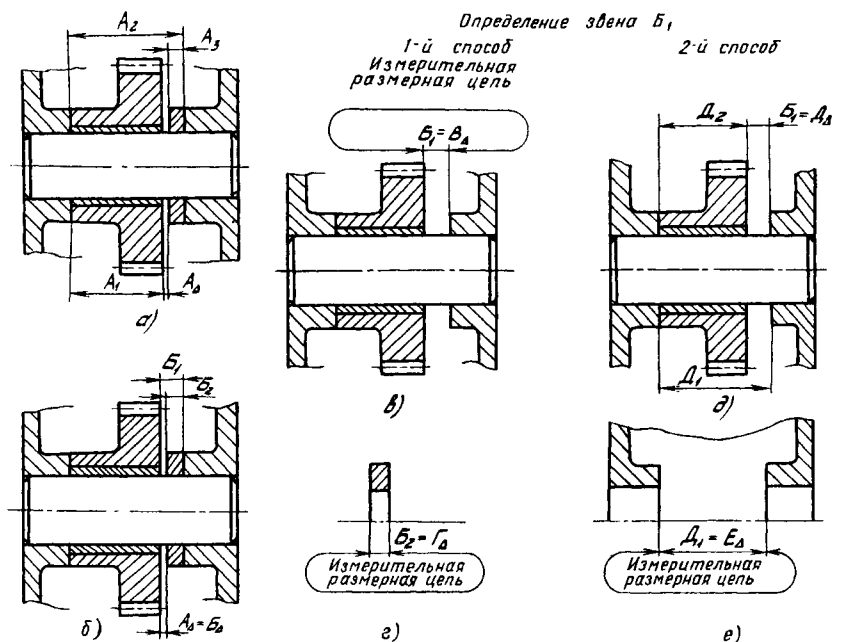
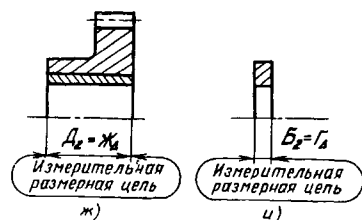


Рис. 5.1. Обеспечение требуемой точности зазора A_D методом регулирования с применением неподвижного компенсатора:

а — конструкторская размерная цепь; б — технологическая размерная цепь; в — и — размерные цепи, возникающие на различных этапах решения задачи



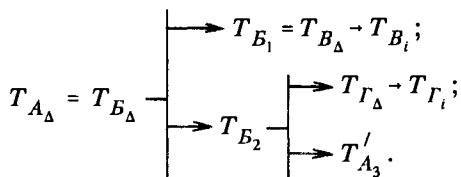
Если требуемую точность зазора обеспечивать методом регулирования с применением неподвижного компенсатора (проставочного кольца), то при сборке будет необходимо определить зазор между торцами шестерни и бобышки корпуса и в зависимости от этого значения выбрать и поставить компенсатор нужной толщины. Такие действия приведут к тому, что точность замыкающего звена A_D будет достигаться не с помощью размерной цепи A , а уже с помощью технологической размерной цепи B (рис. 5.1, б), в которой $B_D = A_D$ и $B_D = B_1 - B_2$.

Значение звена B_1 может быть выявлено двумя способами. Первый из них заключается в непосредственном измерении звена B_1 в предварительно собранном редукторе без проставочного кольца.

В этом случае отклонение замыкающего звена B_{Δ} , а следовательно, и A_{Δ} будет составлять алгебраическая сумма отклонений, допущенных при измерении зазора B_1 , компенсатора B_2 во время рассортировки компенсаторов по ступеням и собственное отклонение толщины компенсатора в пределах установленного допуска T'_{A_3} .

Следует отметить, что познанные значения зазора B_1 и толщины B_2 кольца при измерении выступали в качестве замыкающих звеньев измерительных размерных цепей B и Γ (рис. 5.1, *в, г*).

При таком способе достижения точности замыкающего звена ограничение отклонений допусками должно быть проведено по следующей схеме:

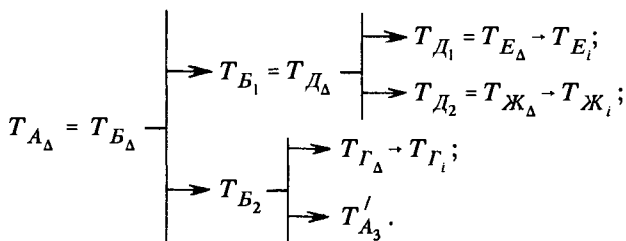


При втором способе значение звена B_1 может быть установлено (минуя предварительную сборку редуктора) расчетом размерной цепи D , составляющими звеньями которой будут длина D_2 ступицы шестерни и расстояние D_1 между торцами бобышек корпуса (рис. 5.1, *д*):

$$B_1 = D_{\Delta} = D_1 - D_2.$$

D_1 и D_2 следует рассматривать как замыкающие звенья измерительных размерных цепей E и $\mathcal{Ж}$ (рис. 5.1, *е, ж*). Погрешность измерения размера B_2 компенсатора будет проявляться так же, как и при первом способе (рис. 5.1, *и*).

В этом случае ограничение допусками отклонений, возникающих при сборке редуктора, необходимо провести по следующей схеме:



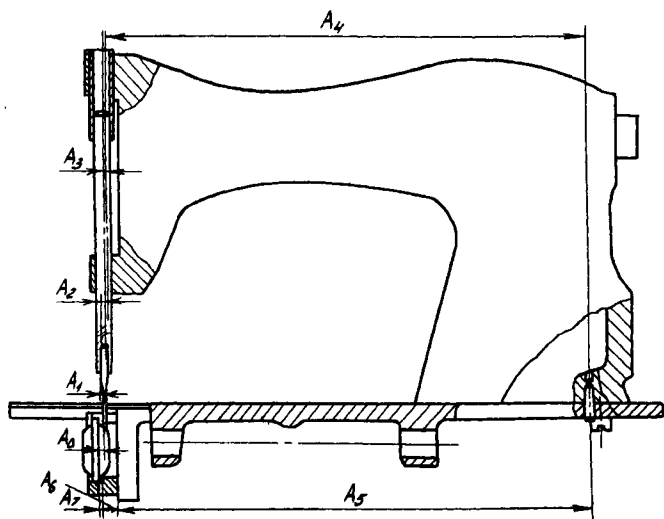


Рис. 5.2. Конструкторская размерная цепь, определяющая зазор A_4 между образующей иглы и носиком челнока в швейной машине

Сопоставляя два способа проведения регулирования, можно сделать вывод о том, что при втором способе размерные связи, образующиеся при сборке, оказываются более сложными. Однако второй способ может оказаться предпочтительным ввиду его меньшей трудоемкости, хотя он и потребует измерений с более высокой точностью.

Примером технологических размерных цепей, в число составляющих звеньев которых входят размеры технологической оснастки, могут служить размерные цепи, с помощью которых при сборке швейной машины обеспечивается требуемая точность зазора между носиком челнока и образующей иглы.

В конструкции швейной машины зазор между носиком челнока и образующей иглы определяется конструкторской размерной цепью A , показанной на рис. 5.2.

Требуемую точность зазора в процессе сборки машины достигают следующим образом.

1. Рукав соединяют с платформой тремя винтами 1 (рис. 5.3).
2. На место игольной пластины ставят пластину-калибр 2 и крепят к платформе двумя винтами 3.
3. В отверстие рукава под игловодитель вставляют оправку-калибр 4, имитирующую иглу.

4. Ударяя молотком, рукав смещают относительно платформы за счет зазоров между винтами и отверстиями в платформе, пока оправка не войдет в отверстие пластины.

5. Оправку и пластину удаляют и ставят контрольные штифты, фиксирующие рукав относительно платформы.

6. Вместе с остальными деталями ставят игловодитель, корпус хода челнока с челноком и иглу.

В процессе сборки необходимую точность зазора обеспечивают путем решения сборочных размерных цепей, каждая из которых является отражением решения какой-то частной задачи. К числу таких задач необходимо отнести следующие.

1. При соединении рукава с платформой с помощью калибров решают вопрос о попадании оправки в отверстие пластины-калибра. Эту задачу можно выразить размерной цепью D :

$$D_{\Delta} = D_1 + D_2 + D_3 - D_4 - D_5.$$

Замыкающим звеном D_{Δ} здесь является величина несовпадения осей оправки и отверстия в пластине. Условием попадания оправки в отверстие должно быть соблюдение следующих условий: звено D_{Δ} должно быть меньше или равно зазору между оправкой и отверстием. Звено D_3 выполняет роль компенсатора.

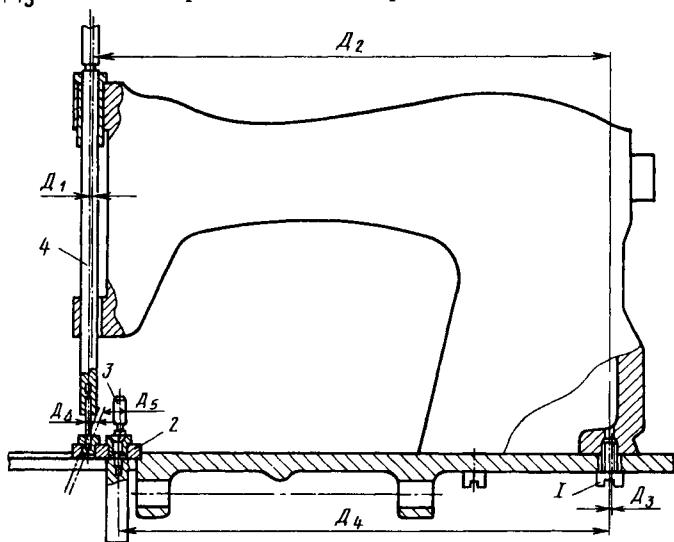


Рис. 5.3. Технологическая размерная цепь, с помощью которой решают задачу совмещения осей оправки-калибра и отверстия в пластине-калибре

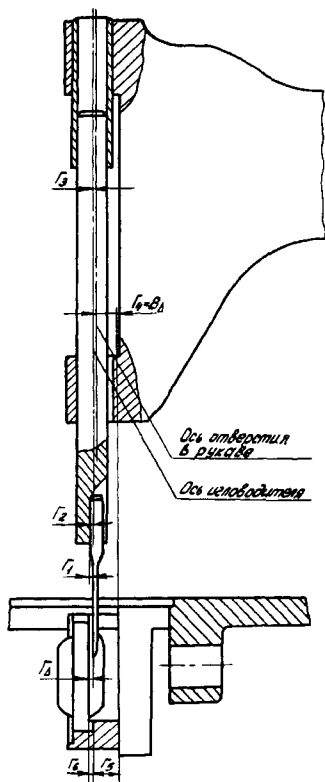
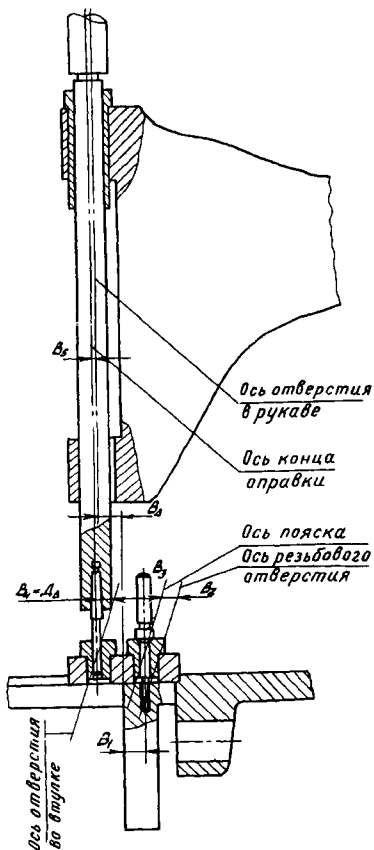


Рис. 5.4. Технологическая размерная цепь, устанавливающая размерную связь между осью отверстия под игловодитель в рукаве и поверхностью стоек под корпус хода челнока в платформе

Рис. 5.5. Технологическая размерная цепь, определяющая точность зазора Γ_Δ

2. После того, как конец оправки попал в отверстие пластины и положение рукава относительно платформы зафиксировано штифтами, устанавливается непосредственная размерная связь между осью отверстий под игловодитель в рукаве и стойками под корпус хода челнока в платформе. Эта связь может быть выражена размерной цепью B (рис. 5.4):

$$B_\Delta = -B_1 + B_2 + B_3 + B_4 - B_5.$$

3. Установка игловодителя, корпуса хода челнока с челноком и иглы определит зазор между носиком челнока и образующей иглы. Точность зазора может быть выражена размерной цепью Γ (рис. 5.5):

$$\Gamma_{\Delta} = \Gamma_1 - \Gamma_2 - \Gamma_3 - \Gamma_4 + \Gamma_5 + \Gamma_6.$$

Выявление размерных цепей, решаемых на отдельных этапах сборочного процесса, дает возможность проследить за суммированием погрешностей, вносимых сборочным процессом.

Замыкающее звено D_{Δ} входит в качестве составляющего звена в размерную цепь B ($D_{\Delta} = B_4$), а замыкающее звено B_{Δ} входит составляющим в размерную цепь Γ ($B_{\Delta} = \Gamma_4$). Следовательно, суммирование погрешностей идет по следующей схеме:

$$\omega_{B_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} \omega_{B_i}, \quad \text{причем } \omega_{B_4} = \omega_{D_{\Delta}};$$

$$\omega_{\Gamma_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} \omega_{\Gamma_i}, \quad \text{причем } \omega_{\Gamma_4} = \omega_{B_{\Delta}}.$$

Это положение должно быть учтено при назначении допусков. Исходным должен быть допуск $T_{\Gamma_{\Delta}}$, а далее

$$\begin{aligned} T_{\Gamma_{\Delta}} &\rightarrow T_{\Gamma_i}; \\ T_{\Gamma_4} &= T_{B_{\Delta}} \rightarrow T_{B_i}. \end{aligned}$$

Для достижения точности замыкающих звеньев Γ_{Δ} и B_{Δ} должны быть использованы методы полной или неполной взаимозаменяемости. Что касается размерной цепи D , то допуски составляющих звеньев должны быть установлены по правилам метода регулирования с применением подвижного компенсатора, считая $T_{D_{\Delta}} = T_{B_4}$.

5.2. ПРИЧИНЫ ОТКЛОНЕНИЙ В РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЯХ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ СБОРКЕ МАШИНЫ

Точность реализации размерных связей в машине в процессе ее сборки зависит от многих факторов, влияющих на относительное положение деталей в машине, точность их сопряжения, относительного движения и надежность работы. Прежде всего проявляют себя отклонения формы, относительного поворота, расстояния и размеров поверхностей деталей, которые возникли в процессе их изготовления. Действуя в совокупности, эти отклонения приводят к отклонениям положения деталей от требуемого, к неправильному сопряжению, потере свободы или точности их движения и т.д.

Эти явления усугубляют силы, воздействующие на детали. Поскольку детали машин являются не абсолютно твердыми телами, то под воздействием собственной массы, а также массы деталей, монтируемых на них, сил крепления деформируются сами детали и их стыки. Деформирования обоих видов являются причинами изменения геометрической точности деталей по всем показателям, а следовательно, и их положения, достигнутого до приложения сил.

Большое влияние на точность реализации размерных связей в машине оказывают погрешности измерений, которыми сопровождается процесс сборки. Возникая на составляющих звеньях технологических размерных цепей, погрешности измерения являются частями суммарных отклонений замыкающих звеньев. Свою долю вносит также неточность и состояние применяемой технологической оснастки.

Причинами погрешностей сборки могут быть относительные сдвиги деталей при фиксации достигнутого положения с помощью штифтов. Для установки штифтов в деталях, соединенных винтами, необходимо просверлить и развернуть отверстия. Транспортирование соединенных деталей к месту обработки отверстий, их установка на станке могут сопровождаться толчками и ударами. При обработке отверстий на детали воздействуют силы резания. Все вместе взятое может привести к тому, что относительное положение деталей, достигнутое при монтаже, окажется нарушенным. Причинами погрешностей сборки могут быть также попадание в стыки деталей грязи и заусенцев, задиры на поверхностях сопряжения при соединении деталей с натягом, образование забоин и пр. Качество сборки машины во многом зависит от квалификации сборщиков, их аккуратности и ответственности в выполнении работы.

Следует отметить, что происхождение погрешностей, возникающих в процессе сборки машины, пока мало изучено. Можно только предполагать, что явления, сопутствующие процессу соединения

деталей, сложны и влекут за собой изменения как свойств материала деталей, так и их геометрических характеристик. Из перечисленных выше причин отклонений в размерных связях при сборке машин ниже более подробно рассмотрены проявление отклонений формы, относительного поворота и расстояния поверхностей деталей, деформации деталей при их монтаже в машине и погрешности измерения.

5.3. ПРОЯВЛЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ, ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОВОРОТА ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ И РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ НИМИ

Основу представления человека о деталях машины составляют абстрактные геометрические образы. Деталь машины представляется как совокупность правильных геометрических тел, ограниченных идеально правильными поверхностями. Идеальная машина (рис. 5.6, а) имеет детали с идеально плоскими поверхностями, которые строго параллельны или перпендикулярны друг к другу.

Знание о неизбежности отклонений формы и относительного положения поверхностей деталей не изменяет идеализированного представления о машине, так как отклонения в сравнении с размерами деталей малы и непосредственно не воспринимаются органами чувств человека. Идеализированный образ машины лежит в основе методов назначения допусков и оценки точности деталей.

Действительно, представляя машину такой, какой она показана на рис. 5.6, а, для обеспечения требуемой точности расстояния L между точками k и m выявляют размерную цепь A , считая $L = A_{\Delta}$, и распределяют допуск $T_{A_{\Delta}}$ между составляющими звеньями. Отклонения формы и относительного поворота поверхностей, участвующих в образовании размерной цепи A , или указывают, или подраз-

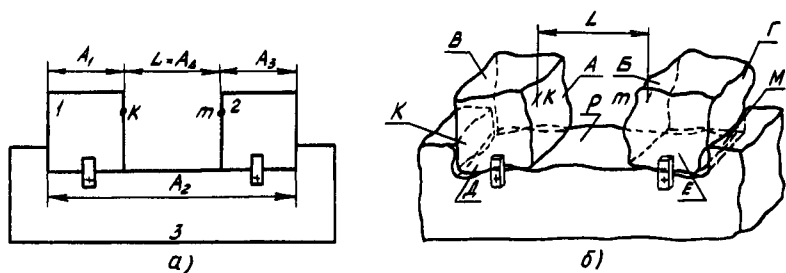


Рис. 5.6. Идеализированное (а) и реальное (б) представления о машине

умевают, что их значения должны находиться в пределах допусков или части допусков на соответствующие звенья размерной цепи A .

У деталей машин нет и не может быть идеально правильных цилиндрических, конических или плоских поверхностей. Детали машин, даже самые точные, ограничены неправильными криволинейными поверхностями, поэтому машина, собранная из реальных деталей, в действительности имеет вид, показанный на рис. 5.6, б несколько утрированно. На точность расстояния L будут влиять не только расстояния, повороты и форма поверхностей деталей, связанных размерной цепью A , но и отклонения от перпендикулярности поверхностей A к D , B к E , K и M к P и отклонения формы этих поверхностей. Все эти отклонения нуждаются в ограничении допусками, исходя из $T_{A_{\Delta}} = T_L$. Однако применяемые методы назначения допусков не дают возможности сделать это, а следовательно, и гарантировать достижение L с заданной точностью.

Положение осложняют погрешности, допущенные при оценке точности деталей. При этом немалое значение имеет несовершенство самих методов оценки точности различных показателей. Например, отклонения от параллельности поверхностей A и B реальной детали (рис. 5.7, а) оценивают в предположении, что эти поверхности идеально плоские (рис. 5.7, б). Отклонение от параллельности поверхностей оценивается отношением a/L , где a — разность расстояний

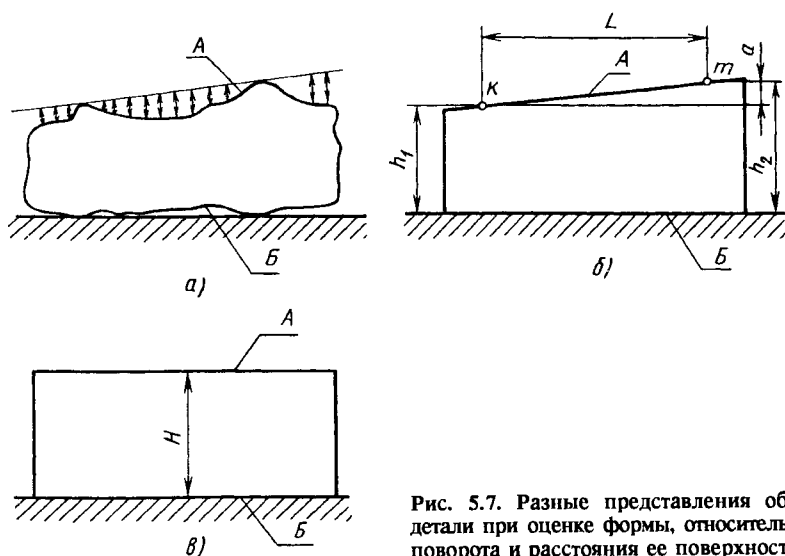


Рис. 5.7. Разные представления образа детали при оценке формы, относительного поворота и расстояния ее поверхностей

h_1 и h_2 между двумя случайно выбранными точками k и m на поверхности A и поверхностью B . Расстояние же между поверхностями A и B определяют в предположении, что эти поверхности и плоски и параллельны (рис. 5.7, *в*). Из этого примера видно, что в основе методов оценки отклонений формы, относительного поворота поверхностей A и B и расстояния между ними лежат разные представления геометрического образа детали.

Несовершенство методов назначения допусков и оценки точности деталей на практике проявляется в том, что из деталей, признанных годными, не всегда получаются качественные изделия. Также известно, что повторная сборка машины из тех же самых деталей дает качественный результат, отличный от того, что был достигнут при первой сборке. Положение усугубляется непрерывным ужесточением требований к точности машин. Высокоточные машины изготавливают с большими затратами труда, а брак составляет порой весьма ощутимые проценты.

Для того чтобы разработать более совершенные методы назначения допусков и оценки точности деталей, необходимо прежде всего отказаться от идеализации геометрической формы поверхностей деталей и представлять машину в том виде, в каком она соответствует действительности. Однако при этом придется отказаться от ряда привычных положений и понятий. Покажем на деталях, ограниченных номинально плоскими поверхностями, последствия отказа от идеализации геометрической формы поверхностей деталей, считая, однако, деталь абсолютно твердым телом.

1. Если исходить из того, что поверхности деталей не плоски, а криволинейны, сразу же теряют смысл геометрические понятия о расстоянии, параллельности, перпендикулярности при характеристике относительного положения детали в машине или относительного положения ее поверхностей. Однако заменой им могут служить характеристики относительного положения систем прямоугольных координат, материализуемых точками контакта деталей по основным и вспомогательным базам (см. п. 3.1, рис. 3.3). По относительному положению координатных плоскостей этих систем можно судить об относительном положении поверхностей детали, а по положению системы, построенной на основных базах детали, о ее положении в системе координат машины.

2. На подбор и определение местоположения точек контакта в стыках влияют рельефы поверхностей сопряжения обеих соединяемых деталей. Это значит, что положение детали в машине и проявление ее собственной точности зависит также от формы рельефов поверхностей деталей, сопряженных с нею.

Примером может быть образование расстояния A между торцами втулок, посаженных на вал без зазора (рис. 5.8). В обоих случаях, представленных на рисунке, на валу сидят одни и те же втулки 1—3. Только на рис. 5.8, б втулка 2 повернута относительно ее первоначального положения на 180° , что повлекло смену точек контакта на торцах деталей, возникновение новых значений составляющих звеньев размерной цепи и изменение замыкающего звена на величину Δ .

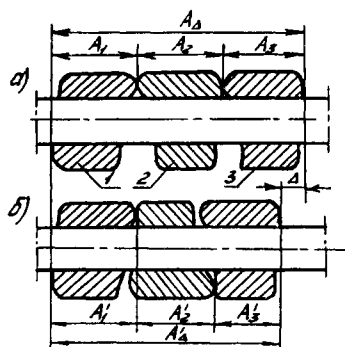
Второе следствие подводит к очень серьезным выводам о правильности существующего подхода к оценке точности деталей. Поскольку проявление собственной точности детали зависит от точности деталей, с которыми она сопряжена, и по существу случайно, то однозначные характеристики точности, которыми деталь наделяется при контроле, не могут в полной мере отразить ее действительную точность. Поэтому оценка точности детали должна быть нацелена не на выявление действительных значений контролируемых параметров, а пределов, в которых могут проявиться их действительные значения, когда деталь займет свое место в машине. Оценивать точность детали следует исходя из того, что действительный размер по своей природе является случайной величиной.

3. Возникающие на точках контакта системы координат остаются связанными с деталью, пока сохраняется ее контакт с деталями, базирующими ее. Находясь в изготовлении на ряде операций на станках или при измерении на контрольной плите или даже заняв свое место в машине, но перемещаясь, деталь контактирует с деталями, базирующими ее, в разных точках. Каждая смена точек контакта означает переход детали в другую систему координат.

4. В установлении относительного положения координатных систем, связанных с деталью, отклонения формы поверхностей основных и вспомогательных баз, их относительного поворота и удаленности* выступают в своем единстве и определенной функциональной зависимости. Отклонения формы поверхностей влияют на местоположение точек контакта. Расположение же точек контакта определяет относительный поворот, удаленность координатных плоскостей и систем, связанных с деталью. При этом относительный поворот координатных плоскостей является функцией не только собственного поворота, но и отклонений формы поверхностей детали,

* К введению этого понятия вынудила невозможность применения к криволинейным поверхностям понятия о расстоянии между ними.

Рис. 5.8. Возникновение действительных размеров деталей в момент их соединения



а удаленность — функцией собственной удаленности поверхностей, их относительного поворота и формы. Более обстоятельное разъяснение смысла функциональной связи отклонений трех видов и ее аналитическое отображение будут даны ниже.

Таковы следствия отказа от идеализации геометрической формы поверхностей деталей, позволяющего глубже вникнуть в сущность явлений, сопутствующих достижению точности машин, и укрепить теоретическую основу методов назначения допусков и оценки точности.

Характеристики относительного положения баз детали

Если об относительном положении основных и вспомогательных баз детали судить по положению координатных плоскостей систем, возникающих на точках контакта, то характеристиками относительного положения баз будут характеристики относительного положения соответствующих координатных плоскостей, выраженные в координатах точек контакта.

Известно, что положение одной системы координат ($O_1X_1Y_1Z_1$) относительно другой ($OXYZ$) характеризуется координатами ее начала и тремя углами Эйлера. Два угла Эйлера характеризуют величину (угол нутации θ) и направление (угол процессии ψ) поворота координатной плоскости $X_1O_1Y_1$, совмещенной со вспомогательной установочной базой детали (будем для краткости называть ее в дальнейшем плоскостью контакта), относительно координатной плоскости XOY , совмещенной с основной установочной базой. Однако направление поворота плоскости контакта нагляднее характеризовать направлением перпендикуляра, опущенного из начала координат O на линию пересечения координатных плоскостей (рис. 5.9, а). Этот перпендикуляр указывает, в какую сторону наклонена плоскость контакта, и по отношению к оси OX направлен под углом β . Угол $\beta = \psi - 90^\circ$.

Третий угол Эйлера, угол ϕ собственного вращения системы $O_1X_1Y_1Z_1$, отражает относительный поворот координатных

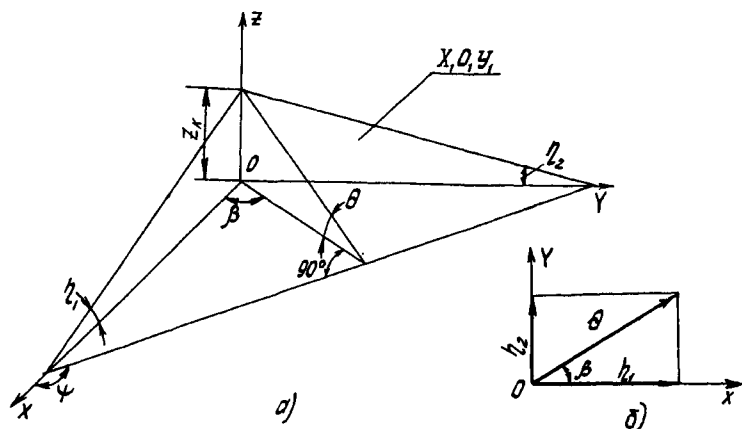


Рис. 5.9. Характеристики относительного положения координатных плоскостей, совмещенных с основной и вспомогательной установочными базами детали

плоскостей XOZ и $X_1O_1Z_1$, совмещенных с основной и вспомогательной направляющими базами детали.

Поскольку построение системы координат на вспомогательных базах детали означает, что координаты точек контакта присоединяемой детали с данной известны, то характеристики положения координатных плоскостей системы $O_1X_1Y_1Z_1$ относительно системы $OXYZ$ можно выразить через координаты точек контакта.

Плоскость контакта, проходящая через первую (x_1, y_1, z_1) , вторую (x_2, y_2, z_2) и третью (x_3, y_3, z_3) точки контакта, будет выражаться уравнением

$$\begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = 0$$

и общим уравнением

$$A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0.$$

На основании последнего

$$\operatorname{tg} \theta = \sqrt{A_1^2 + B_1^2} / C_1.$$

5.1. Значения угла β

Четверть тригонометрического круга	Знак		Угол β
	β'	$-D_1/A_1$	
I	+	+	$0^\circ + \beta'$
II	-	+	$180^\circ - \beta'$
III	+	-	$180^\circ + \beta'$
IV	-	-	$360^\circ - \beta'$

Угол β в четвертях тригонометрического круга может быть найден через

$$\operatorname{arctg} \left(-\frac{B_1}{A_1} \right) = \beta'$$

с учетом его знака и знака отношения $-D_1/A_1$ (табл. 5.1).

Для нахождения третьего угла Эйлера φ необходимо знать координаты четвертой (x_4, y_4, z_4) и пятой (x_5, y_5, z_5) точек контакта, материализующих координатную плоскость $X_1O_1Z_1$, совмещенную с направляющей вспомогательной базой детали.

Приближенно угол φ может быть найден по формуле

$$\cos \varphi = \sin \beta \cos \Delta\varphi - \cos \beta \sin \Delta\varphi,$$

где

$$\Delta\varphi = \operatorname{arctg} \Delta y / \Delta x;$$

здесь

$$\Delta x = x_5 - x_4, \quad \Delta y = y_5 - y_4, \quad \Delta z = z_5 - z_4.$$

Координатная плоскость $X_1O_1Z_1$ описывается уравнением

$$\begin{aligned} & \left| \begin{array}{c} C_1 \Delta z \\ B_1 \Delta y \end{array} \right| x + \left| \begin{array}{c} A_1 \Delta x \\ C_1 \Delta z \end{array} \right| y + \left| \begin{array}{c} B_1 \Delta y \\ A_1 \Delta x \end{array} \right| z + \\ & + \left| \begin{array}{c} z_4 y_4 \\ z_5 y_5 \end{array} \right| A_1 + \left| \begin{array}{c} x_4 z_4 \\ x_5 z_5 \end{array} \right| B_1 + \left| \begin{array}{c} y_4 x_4 \\ y_5 x_5 \end{array} \right| C_1 = 0 \end{aligned}$$

или в сокращенном виде

$$A_2 x + B_2 y + C_2 z + D_2 = 0.$$

Координатная плоскость $Y'O'Z'$, проходящая через шестую точку контакта, описывается уравнением

$$\begin{aligned} & \left| \begin{array}{c} B_1 C_1 \\ B_2 C_2 \end{array} \right| x + \left| \begin{array}{c} C_1 A_1 \\ C_2 A_2 \end{array} \right| y + \left| \begin{array}{c} A_1 B_1 \\ A_2 B_2 \end{array} \right| z + \\ & + \left| \begin{array}{c} C_1 B_1 \\ C_2 B_2 \end{array} \right| x_6 + \left| \begin{array}{c} A_1 C_1 \\ A_2 C_2 \end{array} \right| y_6 + \left| \begin{array}{c} B_1 A_1 \\ B_2 A_2 \end{array} \right| z_6 = 0, \end{aligned}$$

где x_6, y_6, z_6 — координаты шестой точки контакта, или в сокращенном виде

$$A_3 x + B_3 y + C_3 z + D_3 = 0.$$

То, что непараллельность плоскости контакта координатной плоскости, совмещенной с основной установочной базой, характеризуется двумя параметрами, из которых один дает количественную оценку отклонения, а другой указывает его направление, свидетельствует о том, что непараллельность плоскости контакта является

величиной векторной. Для того чтобы графически представить поворот плоскости контакта относительно координатной плоскости XOY , надо на ней построить вектор, совместив его начало с началом координат O (рис. 5.9, б). Длина вектора в выбранном масштабе должна выражать значение угла θ , а направление вектора определяется значением угла β , отсчитываемым от оси OX против часовой стрелки. Составляющие $\bar{\pi}_1$

и $\bar{\pi}_2$ вектора $\vec{\theta}$ можно трактовать как отклонения плоскости

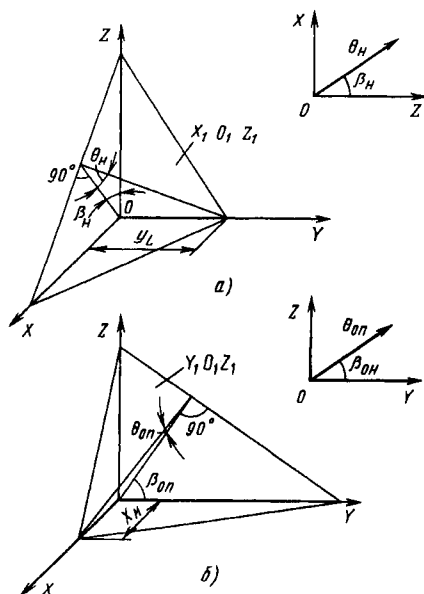


Рис. 5.10. Характеристики относительного положения координатных плоскостей, совмещенных с основными и вспомогательными направляющими (а) и опорными базами (б) детали

контакта от перпендикулярности к координатным плоскостям YOZ и XOZ .

Относительные повороты координатных плоскостей, совмещенных с основными и вспомогательными направляющими и опорными базами детали, также удобно изображать в виде векторов. Но для этого необходимо определить углы θ_n и β_n , характеризующие значение и направление отклонения от параллельности плоскости $X_1O_1Z_1$ относительно плоскости XOZ (рис. 5.10, а), и углы $\theta_{o.n}$ и $\beta_{o.n}$ (рис. 5.10, б), характеризующие отклонение от параллельности плоскости $Y_1O_1Z_1$ относительно плоскости YOZ , по следующим формулам:

$$\cos \theta_n = \cos \beta \sin \varphi + \sin \beta \cos \varphi \cos \theta;$$

$$\operatorname{tg} \beta_n = \frac{1}{\sin \theta} (\sin \beta \operatorname{tg} \varphi - \cos \beta \cos \theta);$$

$$\cos \theta_{o.n} = \sin \beta \cos \varphi + \cos \beta \sin \varphi \cos \theta;$$

$$\operatorname{ctg} \beta_{o.n} = \frac{1}{\sin \theta} (\cos \beta \operatorname{ctg} \varphi - \sin \beta \cos \theta).$$

Относительную удаленность координатных плоскостей можно характеризовать координатами начала системы $O_1X_1Y_1Z_1$. Для нахождения их необходимо решить систему уравнений координатных плоскостей. Однако удобнее характеризовать относительную удаленность поверхностей детали отрезками осей системы координат, построенной на ее основных базах, отсекаемыми координатными плоскостями, совмещенными со вспомогательными базами.

Если придерживаться этого, то, говоря об относительной удаленности поверхностей детали, можно будет вернуться к привычному термину "расстояние". Но понимать его придется не в геометрическом смысле, а в смысле принятого условия: расстояние между поверхностями реальной детали — это отрезки z_K , y_L , x_M осей соответственно OZ , OY , OX . Эти расстояния можно описать следующими формулами:

$$z_K = -D_1/C_1; \quad y_L = -D_2/B_2; \quad x_M = -D_3/A_3.$$

Числителями и знаменателями формул являются соответственно свободные члены и коэффициенты при неизвестных в уравнениях координатных плоскостей.

В зависимости от полноты сведений о рельефе поверхностей сопряжения соединяемых деталей в практике машиностроения встречаются три типа задач.

1. Тем или иным путем описан рельеф поверхностей баз самой детали и деталей, соединяемых с ней. Это позволяет определить координаты точек контакта, воспроизвести на них системы координат и характеризовать относительное положение поверхностей детали вполне определенными величинами.

2. Описан рельеф поверхностей баз самой детали и известны пределы, в которых могут находиться погрешности формы поверхностей деталей, соединяемых с ней. В этом случае можно судить о возможном местонахождении точек контакта деталей, поскольку оно случайно, поэтому характеристики относительного положения поверхностей детали будут носить случайный характер.

Подобного типа задачи возникают при контроле точности деталей. Точность относительного поворота и удаленности поверхностей детали можно характеризовать при контроле не какими-то однозначными параметрами, как это делается сейчас, а пределами, в которых возможно проявление и нахождение этих параметров при установке детали в машину.

3. Известны только пределы, в которых могут изменяться рельефы поверхностей баз и самой детали и деталей, соединяемых с ней. Случайность подбора точек контакта, а следовательно, и характеристик относительного положения поверхностей детали, в этом случае оказывается еще большей. К этому типу относятся задачи, связанные с расчетом допусков.

Таким образом, в зависимости от полноты сведений о рельефе поверхностей соединяемых деталей, характеристики точности относительного положения поверхностей могут носить неслучайный, т.е. вполне определенный, и случайный характер.

Определение местонахождения точек контакта деталей

Возникновение точек контакта на установочных, направляющих и опорных базах деталей происходит в момент их соединения одновременно. И только сложность описания этого явления вынуждает рассматривать их возникновение последовательно на каждой из баз, считая, что на деталь наложены надлежащие связи и по другим базам. Естественно, что разные исходные данные в трех типах задач приводят к различию методик определения местонахождения точек контакта.

Определение местонахождения точек контакта в задачах первого типа. Знание рельефов поверхностей сопряжения двух соединяемых

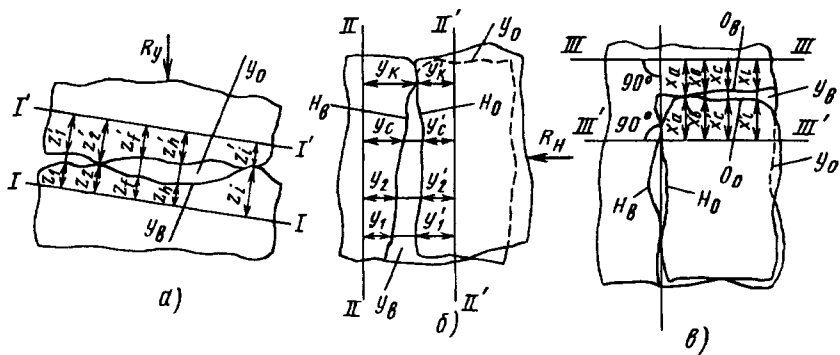


Рис. 5.11. Определение местонахождения точек контакта деталей в задачах первого типа:

Y_0, H_0, O_0 — основные базы присоединяемой детали; Y_B, H_B, O_B — вспомогательные базы базирующей детали; R_y, R_n — равнодействующие силового замыкания

деталей означает, что для каждой точки поверхности сопряжения как одной, так и другой детали определены координаты, описывающие рельеф этих поверхностей относительно измерительных баз.

Определение местонахождения точек контакта в задачах первого типа сводится к следующему.

На поверхностях установочных баз деталей — к отысканию точки с максимальной суммой координат z_i и z'_i , описывающих рельеф поверхностей установочных баз от измерительных баз $I-I$ и $I'-I'$ (рис. 5.11, а), и двух точек, для которых тангенсы углов поворота присоединяемой детали в двух направлениях до соприкосновения с базирующей минимальны. Найденные три точки, образуя треугольник, должны охватывать направление равнодействующей R_y силового замыкания деталей на установочную базу. Если с первой попытки этого достичь не удалось, то попытки охвата точки приложения R_y треугольником из точек контакта надо продолжить, рассматривая поворот присоединяемой детали вокруг линии, проходящей через две последние найденные точки.

На поверхностях направляющих баз деталей — к отысканию точки с максимальной суммой координат y_k и y'_k (рис. 5.11, б), описывающих рельеф поверхностей направляющих баз от измерительных баз $II-II$ и $II'-II'$, и точки, для которой будет наименьшим тангенс угла поворота присоединяемой детали до соприкосновения с базирующей. Здесь также могут быть несколько попыток прежде, чем будут

найденны две точки контакта, расположенные по разные стороны от плоскости, проходящей через равнодействующую силового замыкания R_n перпендикулярно к установочной базе детали.

На поверхностях опорных баз — к отысканию точки с максимальной суммой координат x_a и x'_a (рис. 5.11, в), описывающих рельеф поверхностей опорных баз.

Определение местонахождения точек контакта в задачах второго типа. Это определение представляет собой вероятностную задачу, так как заранее неизвестно, какая именно деталь из имеющейся совокупности будет присоединена к базирующей. О рельефе базирующих поверхностей детали, которая будет присоединена, можно судить лишь на основании установленных пределов изменения высот макронеровностей.

Экспериментальные наблюдения за возникновением точек контакта на поверхностях баз показало, что:

точки контакта располагаются на выпуклостях макронеровностей; причем распределение точек контакта между выпуклостями базирующих поверхностей детали зависит от места приложения равнодействующей силового замыкания R ;

границы областей возможного нахождения точек контакта зависят от предела h высоты неровностей поверхностей сопряжения присоединяемых деталей;

наиболее вероятно расположение точек контакта около вершин выпуклостей и менее вероятно при удалении от них; при определенных условиях и чаще всего распределение точек контакта в областях их возможного нахождения подчинено нормальному закону.

Для любой точки A установочной, направляющей или опорной поверхностей баз можно определить вероятность того, что она может оказаться точкой контакта. Эта вероятность равна произведению трех вероятностей: P_1 — вероятности того, что при данном положении R выпуклость с точкой A обладает возможностью давать точки контакта; P_2 — вероятности того, что точка A находится в пределах области, в которой располагаются точки контакта; P_3 — вероятности совмещения точки контакта с точкой A :

$$P_A = P_1 P_2 P_3.$$

Если точка A принадлежит установочной базе, то вероятности элементарных событий могут быть найдены следующим путем. Для определения P_1 необходимо установить все возможные сочетания выпуклостей (или областей сосредоточения точек контакта) по три из числа n :

$$C_n^3 = \frac{n!}{3!(n-3)!};$$

выявить из них действительные сочетания C , отбросив те X , которые не обеспечивают нахождение точки приложения равнодействующей R_y внутри треугольника, образованного выпуклостями:

$$C = C_n^3 - X;$$

установить участие каждой выпуклости в образовании действительных сочетаний выпуклостей и характеризовать его числом J ; найти для выпуклости i вероятность $P_{1(i)} = J/C$.

Пример. На рис. 5.12 представлена деталь, имеющая четыре выпуклости на установочной базе, дающие четыре области возможного нахождения точек контакта. Равнодействующая силового замыкания приложена в центре детали.

В данном случае число возможных сочетаний областей, дающих три точки контакта на установочной базе,

$$C_4^3 = \frac{4!}{3!(4-3)!}.$$

Возможны следующие сочетания областей: 1, 2, 3; 1, 2, 4; 1, 3, 4; 2, 3, 4. Так как при любом сочетании областей в них найдутся точки, на которых можно построить треугольники, охватывающие точку приложения равнодействующей R_y , то все сочетания областей следует считать действительными. В этих сочетаниях каждая из областей участвует три раза. Следовательно,

$$P_{1(1)} = P_{1(2)} = P_{1(3)} = P_{1(4)} = 3/4 = 0,75.$$

Иначе будет обстоять дело, если точка приложения R_y будет находиться не в центре детали, а, например, в точках a , b , $в$, $г$. Для этих случаев ниже в таблице приведены расчетные значения P_i и частоты m_i , установленные экспериментально.

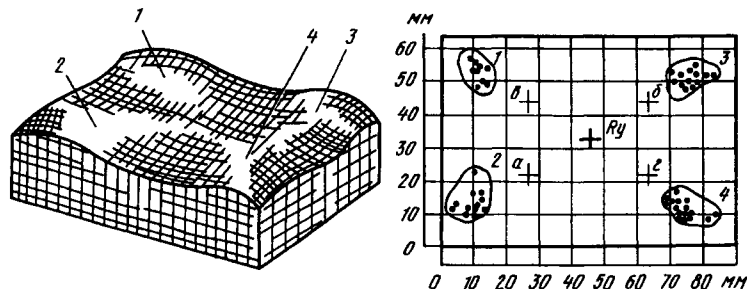


Рис. 5.12. Распределение точек контакта на вспомогательной установочной базе детали

Как видно из приведенной ниже таблицы, опытные данные довольно близки к расчетным. Полное совпадение частот и вероятностей наблюдается у выпуклостей, в направлении которых сдвигалась точка приложения равнодействующей R_y . Для равномерно выпуклых и извернутых поверхностей $P_1 = 1$.

№ выпуклости (рис. 5.12)	Центральное приложение R_y		Приложение R_y в точках							
			а		б		в		г	
	P_1	m_1	P_1	m_1	P_1	m_1	P_1	m_1	P_1	m_1
1	0,75	0,60	0,66	0,68	0,66	0,76	1,00	1,00	0,66	0,52
2	0,75	0,52	1,00	1,00	0,66	0,44	0,66	0,56	0,66	0,68
3	0,75	0,88	0,66	0,48	1,00	1,00	0,66	0,76	0,66	0,68
4	0,75	0,84	0,66	0,76	0,66	0,72	0,66	0,56	1,00	1,00

Вероятность P_2 равна 1 или 0 в зависимости от того, задана ли точка A в пределах области, в которой могут находиться точки контакта, либо вне ее. Однако для того чтобы прийти к одному из возможных решений, необходимо знать границы областей. Границы областей будут представлять собой контуры сечений выпуклостей установочной базы детали, удаленные от плоскости P , проходящей через их вершины, на расстояние, равное пределу h высот макронеровностей основной установочной базы присоединяемой детали (рис. 5.13, а). Если базирующая деталь будет иметь меньшую высоту неровностей, чем присоединяемая, то точки контакта могут располагаться по всей ее поверхности, и тогда $P_2 = 1$.

Если при определении P_3 предположить, что любая точка области S обладает одинаковой возможностью стать точкой контакта, то на основании понятия о геометрической вероятности

$$P_3 = \Delta S / S,$$

Рис. 5.13. Области и зоны распределения точек контакта на выпуклостях поверхности детали



где S — площадь проекции области возможного нахождения точек контакта на плоскость, проходящую через вершины выпуклостей; ΔS — площадь элементарного участка поверхности базы детали, на котором контактирует с нею присоединяемая деталь.

Однако действие многочисленных факторов приводит не к равномерному рассеянию точек контакта в пределах области, а к тому, что точки группируются возле вершины выпуклости и оказываются более редкими у границы области.

Если сделать дополнительные сечения выпуклостей так, чтобы расстояния между ними составляли $1/3h$, то внутри проекции каждой области образуются три зоны (рис. 5.13, б). При определенных условиях распределение точек контакта по зонам подчинено нормальному закону с плотностью вероятности, равной в зоне I — 0,68, в зоне II — 0,27, в зоне III — 0,04.

При наличии дополнительных сведений о том, в какой из зон области задана точка A ,

$$P_3 = P_j \frac{\Delta S}{S_j},$$

где P_j — вероятность нахождения точек контакта в зоне j ; S_j — площадь проекции зоны j на плоскость, проходящую через вершины выпуклостей.

При сопряжении деталей по поверхностям направляющих баз присоединяемая деталь обладает свободой только одного поворота и перемещения в одном направлении. Это является причиной того, что расположение точек контакта на направляющих базах зависит не только от формы их рельефа, но и от поворота направляющих баз относительно плоскости, проходящей через три точки установочной базы. Поэтому при определении P_1 необходимо учесть возможности возникновения точек контакта на выпуклостях направляющей базы при рассмотрении ее в продольном и поперечном направлениях. Осуществление каждой из возможностей может быть характеризовано соответственно вероятностями P_a и P_b . Таким образом, для направляющих баз $P_1 = P_a P_b$.

Особенностью сопряжения деталей по опорным базам является то, что местонахождение единственной точки контакта зависит не только от рельефа опорных баз, но и от поворотов поверхностей опорных баз базирующей и присоединяемой деталей относительно плоскости, проходящей через три точки установочной базы, характеризуемых соответственно углами ν и ξ , и относительно плоскости, построенной на двух точках направляющей базы перпендикулярно к установочной

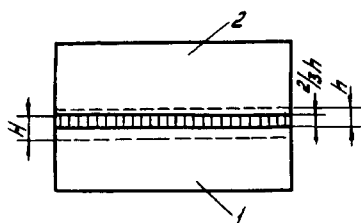


Рис. 5.14. Пространство возможного местонахождения точек контакта в задачах третьего типа:

1 — базирующая деталь; 2 — присоединяемая деталь

базе, отражаемых углами ρ и τ . Следовательно, P_1 будет являться функцией четырех случайных аргументов ν , ξ , ρ и τ .

Для приближенного определения вероятностей P_2 и P_3 в задачах, касающихся нахождения точек контакта на направляющих и опорных базах, можно воспользоваться методикой определения тех же вероятностей для точек установочных баз деталей.

Определение местонахождения точек контакта в задачах третьего типа. Исходными данными в этом случае будут являться пределы, ограничивающие неплоскостность поверхностей баз обеих соединяемых деталей.

Выявляя возможное местонахождение точек контакта на поверхностях установочных баз деталей, необходимо учитывать, что глубина проникновения точек контакта во впадины неровностей установочной базы базирующей детали подчиняется избирательному закону. Глубину проникновения точек контакта определяет высота неровностей той из соединяемых деталей, у которой она меньшая. Согласно этому три точки контакта на установочной базе детали могут находиться в пределах пространства с высотой h или H , охватывая точку приложения равнодействующей R_y (h и H — пределы отклонений от плоскостности поверхностей установочных баз соответственно присоединяемой и базирующей деталей).

Размеры пространства возможного нахождения точек контакта могут быть уточнены, если принять во внимание следующие обстоятельства.

Учитывая, что нахождение точек контакта в третьих зонах высот неровностей маловероятно, без большого ущерба можно считать, что глубина распространения точек контакта по высотам неровностей практически составляет $2/3h$ при $h \leq H$ или $2/3H$ при $h > H$. Тогда объем пространства возможного нахождения точек контакта представит таким, как показано на рис. 5.14.

Уточнить местоположение точек контакта можно за счет дополнительных сведений о характере рельефа баз, соотношении размеров баз, по которым осуществляется сопряжение деталей, возможном сближении точек контакта и, видимо, другими путями.

Таким образом, при решении практических задач различного типа всегда с той или иной степенью достоверности можно судить о место-

нахождении точек контакта на поверхностях баз деталей. Представление возможного местоположения точек контакта позволяет учесть влияние отклонений формы поверхностей баз на положение деталей в машине.

Влияние отклонений формы поверхностей баз на их относительный поворот

Поворот Π одной поверхности детали относительно другой складывается из собственного поворота Π_c и дополнительного поворота Π_ϕ , возникающего вследствие неплоскостности поверхностей соединяемых деталей и расположения точек контакта на склонах выпуклостей (рис. 5.15, а).

Собственный поворот можно характеризовать поворотом координатной плоскости, проходящей через вершины неровностей поверхности. В связи с этим плоскость контакта, проходящая через вершины неровностей установочной базы детали, может быть названа нулевой. Дополнительный поворот координатных плоскостей необходимо отсчитывать от нулевой плоскости контакта. Тогда вектор относительного поворота $\vec{\Pi}$ поверхностей деталей будет представлять собой сумму векторов $\vec{\Pi}_c$ и $\vec{\Pi}_\phi$ (рис. 5.15, б).

Определение относительного поворота поверхностей деталей в задачах первого типа. Поскольку по условиям задач первого типа координаты точек контакта деталей могут быть найдены, то можно сразу определить суммарный относительный поворот Π координатных плоскостей по формулам, приведенным выше в этой главе.

Определение относительного поворота поверхностей деталей в задачах второго типа. В задачах второго типа можно судить лишь о пределах, в которых может проявиться относительный поворот координатных плоскостей, так как расположение точек контакта на базирующих поверхностях деталей случайно. Поэтому становятся

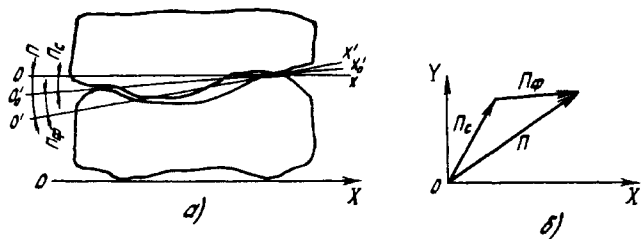


Рис. 5.15. Влияние отклонений формы поверхностей баз на их относительный поворот

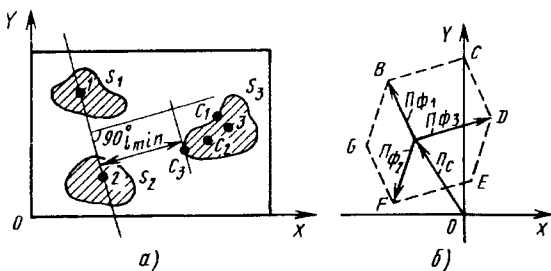


Рис. 5.16. Построение годографа возможного относительного поворота поверхности детали

случайными и векторы дополнительного поворота координатных плоскостей. Границами рассеяния векторов дополнительного поворота координатных плоскостей могут служить годографы и эллипсы рассеяния.

К построению годографа можно подойти следующим путем. Пусть на вспомогательной установочной базе детали нахождение точек контакта возможно в областях S_1 , S_2 и S_3 (рис. 5.16, а). Точки 1, 2 и 3 являются вершинами выпуклостей, через них проходит нулевая плоскость контакта, поворот которой выражает вектор \vec{P}_c (рис. 5.16, б).

Допустим, что точка 3 контакта будет перемещаться в пределах области S_3 . Это приведет к дополнительному повороту плоскости контакта вокруг линии I—I, проходящей через вершины 1 и 2. Максимального значения дополнительный поворот возможен тогда, когда

точкой 3 контакта станет точка c_3 . Его отобразит вектор $\vec{P}_{\phi 3}$. Аналогичные рассуждения можно повторить в отношении точек контакта из областей S_1 и S_2 и построить векторы $\vec{P}_{\phi 1}$ и $\vec{P}_{\phi 2}$ на конце вектора \vec{P}_c .

Если предположить, что точки контакта будут перемещаться одновременно в двух областях, например, в S_1 и S_3 , то значение вектора дополнительного поворота плоскости контакта будет изменяться в пределах параллелограмма $ABCD$. Применив те же рассуждения в отношении других сочетаний областей, получим параллелограммы $ADEF$ и $AFGB$. В совокупности они составят шестиугольник, ограничивающий возможный поворот плоскости контакта из-за погрешностей формы установочных баз соединяемых деталей. Шестиугольник $BCDEFG$ представляет собой геометрическое место точек конца случайного вектора дополнительного поворота плоскости контакта и именно поэтому он может быть назван *годографом*.

Эллипс рассеяния является математическим обобщением годографа возможного дополнительного поворота плоскости контакта. Для построения эллипса рассеяния координаты точек контакта следует трактовать как составляющие трехмерных случайных векторов. От характеристик их распределения можно перейти к характеристикам распределения проекций A_1, B_1, C_1 нормального вектора в плоскости контакта, а затем к характеристикам распределения тангенсов углов θ и β (рис. 5.17). По этим характеристикам можно определить основные параметры эллипса рассеяния вектора поворота плоскости контакта и построить его.

Границы относительного поворота координатных плоскостей, построенных на направляющих и опорных базах детали, можно также выразить с помощью годографов или эллипсов рассеяния. Для этого необходимо найти характеристики распределения углов θ_n и β_n , $\theta_{оп}$ и $\beta_{оп}$, являющиеся функциями трех случайных аргументов.

Определение относительного поворота поверхностей деталей в задачах третьего типа. В задачах третьего типа, в которых изменение рельефов базирующих поверхностей соединяемых деталей заданы пределами, становится случайным и собственный поворот координатных плоскостей, так как имея только пределы, невозможно предугадать относительное расположение выпуклостей, их высоту и поворот плоскости, проходящей через вершины неровностей у конкретной поверхности детали. Поэтому здесь приходится иметь дело с годографами или эллипсами рассеяния как собственного, так и дополнительного относительного поворота координатных плоскостей.

Поскольку задачи третьего типа связаны с назначением допусков на отклонения формы, относительного поворота и расстояния поверхностей деталей, то годографы или эллипсы рассеяния векторов собственного и дополнительного поворота координатных плоскостей приходится задавать. Это позволяет придавать им наиболее простую и удобную форму.

Назначение допусков связано с разложением годографа или эллипса рассеяния относительного поворота координатных плоскостей, совмещенных с основными и вспомогательными базами детали, на годографы или эллипсы рассеяния собственного и дополнительного поворота. Для проведения этой операции необходимо знать правила их суммирования. Ниже показан

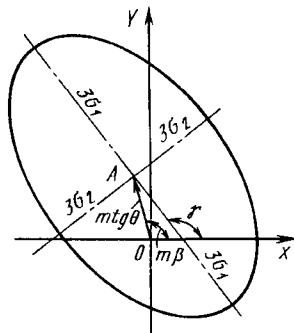


Рис. 5.17. Эллипс рассеяния значений случайного вектора относительного поворота поверхности детали

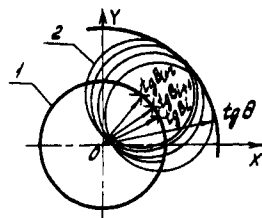
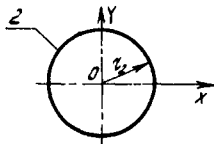
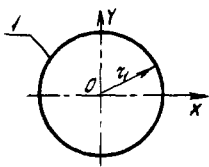


Рис. 5.18. Построение годографа возможного собственного и дополнительного поворота поверхности детали

подход к суммированию двух годографов поворота плоскости контакта относительно координатной плоскости, совмещенной с основной установочной базой детали.

Если собственный поворот плоскости контакта задан годографом 1 (рис. 5.18), а дополнительный — годографом 2, то возможный поворот плоскости контакта выразит третий годограф. Для его построения необходимо в каждой точке контура годографа 1 построить годограф 2, поскольку любой случайный вектор собственного поворота плоскости контакта может быть дополнен вектором дополнительного поворота. Огибающая семейства годографов 2, построенных на контуре годографа 1 и явится границей возможного поворота плоскости контакта. Таким образом, в любом направлении вектор возможного поворота плоскости контакта представляет собой сумму векторов собственного и дополнительного поворота плоскости контакта того же направления.

Для того чтобы построить эллипс рассеяния возможного относительного поворота координатных плоскостей, необходимо иметь направления главных осей рассеяния и главные дисперсии каждого из поворотов в отдельности. Тогда по формулам сложения несвязанных случайных векторов (см. п. 1.3) можно будет определить направление и главные дисперсии эллипса суммарного рассеяния.

Для того чтобы построить эллипс рассеяния возможного относительного поворота координатных плоскостей, необходимо иметь направления главных осей рассеяния и главные дисперсии каждого из поворотов в отдельности. Тогда по формулам сложения несвязанных случайных векторов (см. п. 1.3) можно будет определить направление и главные дисперсии эллипса суммарного рассеяния.

Расстояние как функция относительной удаленности, поворота и неплоскостности поверхностей деталей

Выше было сказано, что у реальных деталей, ограниченных непараллельными и криволинейными поверхностями, относительную удаленность этих поверхностей нельзя характеризовать расстоянием между случайно избранными на них точками. Однако можно условиться характеризовать относительную удаленность поверхностей деталей отрезками осей системы координат, построенной на основных базах, отсекаемыми координатными плоскостями, совмещенными со вспомогательными базами. Если придерживаться этого, то можно будет вернуться к привычному термину "расстояние", понимая его в смысле принятого условия: расстояние между поверхностями

Рис. 5.19. Геометрическая интерпретация количественной связи расстояния, относительного поворота и формы поверхностей установочных баз детали

реальной детали — это отрезки z_K , y_L и x_M соответственно осей координат OZ , OY и OX .

Расстояние между поверхностями детали в задачах первого типа. В задачах первого типа $z_K = -D_1/C_1$; $y_L = -D_2/B_2$; $x_M = -D_3/A_3$.

Компонентами этих формул являются свободные члены и коэффициенты при неизвестных в уравнениях координатных плоскостей.

При решении практических задач может оказаться необходимым знание расстояний между отдельными точками вспомогательных баз и координатными плоскостями, совмещенными с соответствующими основными базами детали.

Формула для определения расстояния L_z между точкой A вспомогательной установочной базы детали и плоскостью XOY может быть выведена с помощью схемы, показанной на рис. 5.19, где P — нулевая плоскость контакта; z_0 — расстояние между плоскостями P и XOY ; ξ_A — отклонение от плоскостности вспомогательной установочной базы в точке A ; θ — угол поворота плоскости контакта в направлении β ; ϵ — угол поворота плоскости контакта в направлении $\beta + \rho$, в котором находится точка A . Тогда

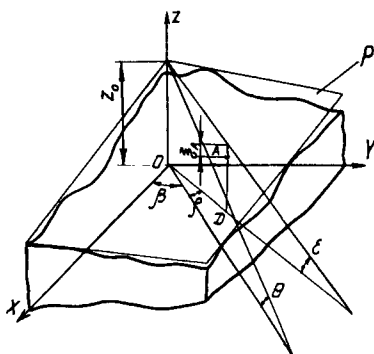
$$L_z = z_0 - \sqrt{x_A^2 + y_A^2} \operatorname{tg} \theta \cos \rho - \xi_A.$$

Формулы для определения расстояний L_y и L_x точек B и C направляющей и опорной вспомогательных баз относительно координатных плоскостей XOZ и YOZ аналогичны:

$$L_y = y_0 - \sqrt{x_B^2 + z_B^2} \operatorname{tg} \theta_{\text{н}} \cos \rho_{\text{н}} - \eta_B;$$

$$L_x = x_0 - \sqrt{y_C^2 + z_C^2} \operatorname{tg} \theta_{\text{оп}} \cos \rho_{\text{оп}} - \chi_C,$$

где $\rho_{\text{н}}$ и $\rho_{\text{оп}}$ — направления, отсчитываемые от направлений $\beta_{\text{н}}$ и $\beta_{\text{оп}}$, в которых находятся соответственно точки B и C направляющей



и опорной вспомогательных баз; η_B и χ_C — отклонения от плоскостности вспомогательных направляющей и опорной баз соответственно в точках B и C .

Формулы для определения расстояний L_z , L_y и L_x своими слагаемыми отражают количественную связь между расстоянием, относительным поворотом и геометрической формой базирующих поверхностей деталей.

Расстояние между поверхностями детали в задачах второго типа. В задачах второго типа расстояния z_K , y_L и x_M выступают как величины случайные. Распределение этих расстояний можно характеризовать с помощью математических ожиданий и дисперсий.

Расстояния L_z , L_y и L_x в задачах второго типа остаются величинами не случайными и могут быть найдены непосредственным измерением или вычислены по формулам, относящимся к задачам первого типа.

Расстояние между поверхностями детали в задачах третьего типа. В задачах третьего типа количественная связь погрешностей расстояния с погрешностями относительного поворота и формы поверхностей деталей будет неопределенной, если не задать положение центров поворота координатных плоскостей, совмещенных со вспомогательными базами.

Вообще центры собственного поворота координатных плоскостей можно выбирать произвольно. Но если их располагать на осях координат, то влияние собственного поворота координатных плоскостей на точность соответствующих расстояний полностью устраняется (рис. 5.20). При одних и тех же углах поворота плоскости контакта изменение расстояния z_K возможно в пределах $\omega_{z_{K1}}$, если центр поворота будет находиться в точке O_1 , в пределах $\omega_{z_{K2}}$, если центр поворота будет в точке O_2 . Только при нахождении центра поворота на оси OZ в точке O_3 , $\omega_{z_{K3}} = 0$.

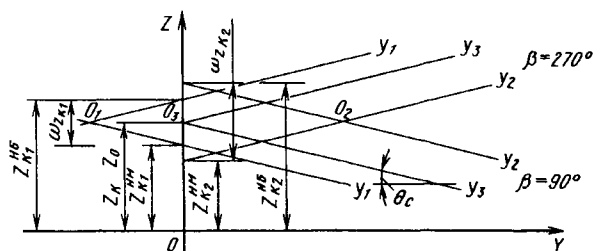


Рис. 5.20. Устранение влияния собственного относительного поворота координатной плоскости на расстояние z_K

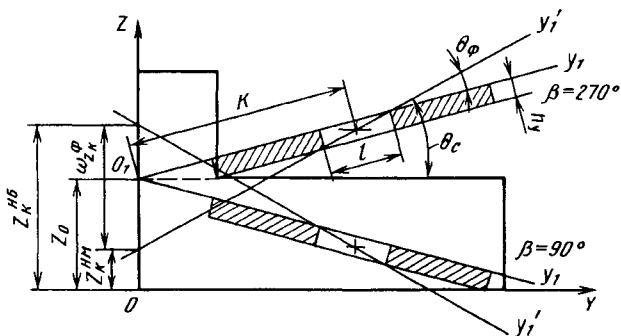


Рис. 5.21. Совместное влияние собственного и дополнительного поворота координатной плоскости на расстояние z_K

Центр дополнительного поворота плоскости контакта следует располагать в центре пространства возможного нахождения точек контакта, а центр дополнительного поворота координатной плоскости, совмещенной со вспомогательной направляющей базой, — в плоскости симметрии такого же пространства.

На рис. 5.21 показано совместное влияние собственного θ_c и дополнительного θ_ϕ поворота на изменение расстояния z_K . Рис. 5.22 несколько упрощенно отображает влияние поворота плоскости контакта на расстояние z_K . Согласно ему возможное поле рассеяния расстояния z_K , являющееся следствием неплоскостности вспомогательной установочной базы детали,

$$\omega_{z_K}^\phi = z_K^{\text{НБ}} - z_K^{\text{НМ}} = 2K \operatorname{tg} \theta_\phi^{\text{НБ}} = 2Kh_y / l,$$

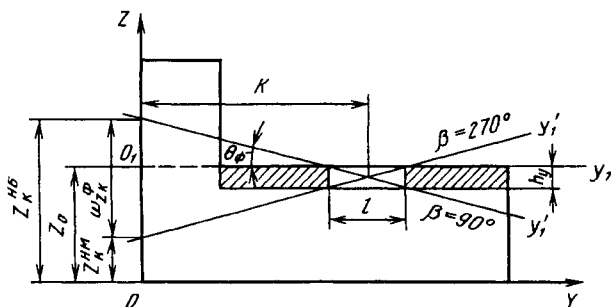


Рис. 5.22. Упрощенное представление влияния дополнительного поворота координатной плоскости на расстояние z_K

где K — расстояние между осью OZ и центром пространства возможного нахождения точек контакта; $\theta_{\Phi}^{нб}$ — наибольший возможный, дополнительный поворот плоскости контакта; h_y — предельное отклонение от плоскостности вспомогательной установочной базы; l — расстояние между границами сближения точек контакта.

Расстояние y_L (рис. 5.23) зависит от угла поворота θ_n координатной плоскости, совмещенной со вспомогательной направляющей базой детали, а следовательно, и от угла поворота плоскости контакта. Возможное поле рассеяния расстояния y_L

$$\omega_{y_L} = y_L^{нб} - y_L^{нм} = 2L \sqrt{\frac{1 + \operatorname{tg}^2 \Delta\varphi^{нб}}{\cos^2 \theta^{нб}} - 1},$$

где $\operatorname{tg} \Delta\varphi^{нб} = \Delta y^{нб} / \Delta x^{нм}$; L — расстояние от координатной плоскости XOY до наивысшей точки направляющей базы детали.

Аналогичным путем могут быть найдены пределы изменения расстояния x_M :

$$\omega_{x_M} = x_M^{нб} - x_M^{нм} = 2M \sqrt{\frac{1 + \operatorname{tg}^2 \Delta\varphi^{нб}}{\cos^2 \theta^{нб}} - 1},$$

где M — расстояние от координатной плоскости XOY до наивысшей точки опорной базы детали.

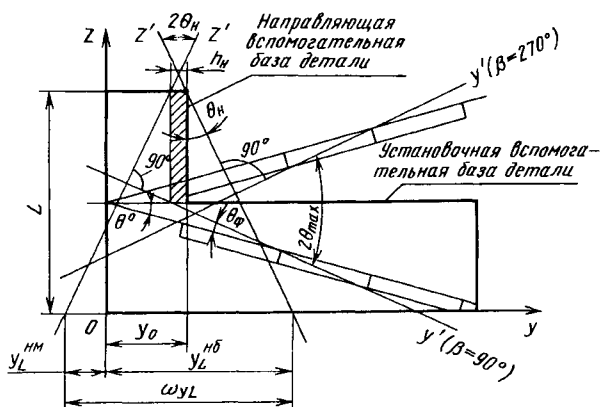


Рис. 5.23. Зависимость расстояния y_L от поворота системы $O_1X_1Y_1Z_1$ относительно системы $OXYZ$

Формулы возможных полей рассеяния расстояний между базами, измеряемых отрезками координатных осей, отражают зависимость расстояния от формы и относительного поворота не только тех баз, между которыми их определяют, но и от формы и поворота других баз, составляющих данный комплект. Например, y_L зависит от формы и поворота вспомогательной установочной базы, а x_M , помимо этого, от формы и поворота направляющей базы. Подобную зависимость положения одних баз от формы и положения других в настоящее время не только не учитывают, но порой и не подозревают о ней.

Пределы возможного изменения расстояний L_z , L_y , L_x точек вспомогательных баз относительно координатных плоскостей, совмещенных с соответствующими основными базами детали, могут быть найдены по следующим формулам:

$$\omega_{L_z} = \omega_{z_0} + 2\sqrt{x_A^2 + y_A^2} \operatorname{tg}\theta^{\text{нб}} + h_y;$$

$$\omega_{L_y} = \omega_{y_0} + 2\sqrt{x_B^2 + z_B^2} \operatorname{tg}\theta_{\text{н}}^{\text{нб}} + h_{\text{н}};$$

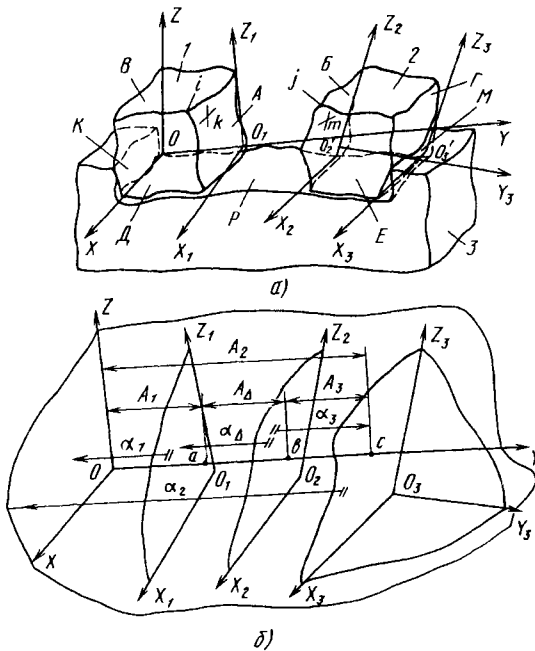
$$\omega_{L_x} = \omega_{x_0} + 2\sqrt{x_C^2 + z_C^2} \operatorname{tg}\theta_{\text{оп}}^{\text{нб}} + h_{\text{оп}},$$

где ω_{z_0} , ω_{y_0} , ω_{x_0} — возможные поля рассеяния расстояний между координатными плоскостями, проходящими через вершины выпуклостей вспомогательных баз и координатными плоскостями, совмещенными с основными базами; h_y , $h_{\text{н}}$, $h_{\text{оп}}$ — предельные отклонения от неплоскостности соответственно установочной, направляющей и опорной баз; x_i , y_i , z_i — координаты точек вспомогательных баз деталей; $\theta^{\text{нб}}$, $\theta_{\text{н}}^{\text{нб}}$, $\theta_{\text{оп}}^{\text{нб}}$ — наибольшие возможные значения относительного поворота координатных плоскостей.

Расчет допусков на отклонения формы, поворота и расстояния поверхностей деталей

Приводимый ниже материал не следует воспринимать как методику ограничения допусками отклонений трех видов с учетом их количественной связи, а лишь как разъяснение смысла такой методики и ее преимуществ.

Рис. 5.24. Системы координат, построенные на исполнительных поверхностях машины и базах деталей



Расчету допусков должно предшествовать построение системы координат машины, систем координат деталей на их основных и вспомогательных базах и разработка исходных данных для расчета допусков. Поясним смысл этих действий применительно к примеру, рассмотренному ранее (см. рис. 5.6, б).

Обеспечение требуемого относительного положения исполнительных поверхностей A и B машины (рис. 5.24, а) в данном случае может быть отождествлено с обеспечением относительного положения координатных плоскостей $X_1O_1Z_1$ и $X_2O_2Z_2$, совмещенных с ними в наивысших точках неровностей.

В качестве системы координат машины могла бы быть избрана независимая система. Однако размерные связи будут более короткими, если начало отсчета связать с основными базами деталей 1 или 2 и участками поверхности P , по которым осуществляется их сопряжение с базирующей деталью 3 . Приняв за начало отсчета основные базы детали 1 (систему $OXYZ$), получим связь исполнительных поверхностей A и B (рис. 5.24, б).

При разработке исходных данных для расчета допусков прежде всего необходимо выявить характер связи исполнительных поверхностей, предписанный служебным назначением машины. Характер связи

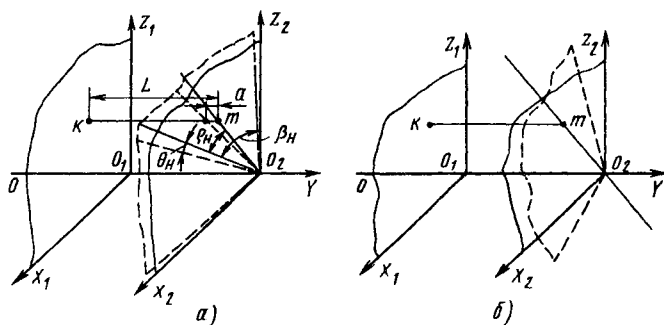


Рис. 5.25. Связь между противоположными точками исполнительных поверхностей машины

определяет требования к точности относительного положения либо двух противоположных точек исполнительных поверхностей, либо точек, составляющих линии, либо всех противоположных точек. Для двух исполнительных поверхностей возможны шесть сочетаний: точка — точка, точка — линия (ось), точка — плоскость, линия (ось) — линия (ось), линия (ось) — плоскость, плоскость — плоскость. В каждом из случаев должен быть свой подход к определению исходных данных для расчета допусков. Рассмотрим два примера, поясняющие это положение.

Пусть условия задачи содержат требование, чтобы точки k и m (см. рис. 5.24, а) исполнительных поверхностей машины находились на расстоянии L (рис. 5.25, а) при допуске T_L . Для расчета допусков в данном случае следует использовать формулу

$$L_y = y_0 - \sqrt{x_B^2 + z_B^2} \operatorname{tg} \theta_H \cos \rho_H - \eta_B.$$

Введя соответствующие обозначения, представим эту формулу в виде

$$L = A_\Delta - a - \eta_{km}.$$

Следовательно,

$$T_L = T_{A_\Delta} + T_a + T_{\eta_{km}}.$$

Здесь T_{A_Δ} ограничивает отклонения расстояния A_Δ между плоскостями $X_1O_1Z_1$ и $X_2O_2Z_2$, измеряемого отрезком оси OY (рис. 5.25, б). Допуском T_a ограничено отклонение расстояния L , вызываемое

относительным поворотом α_{Δ} координатных плоскостей. Третий допуск η_{km} ограничивает влияние отклонения от плоскостности поверхностей A и B (см. рис. 5.24) на расстояние между точками k и m (рис. 5.25). Распределение допуска T_L между тремя слагаемыми должно быть сделано с учетом степени сложности соблюдения допусков.

Следующим шагом является переход от допуска T_a к допуску $T_{\alpha_{\Delta}}$ на относительный поворот плоскостей $X_1O_1Z_1$ и $X_2O_2Z_2$.

Так как

$$a = \sqrt{x_m^2 + z_m^2} \operatorname{tg} \theta_{\text{H}} \cos \rho_{\text{H}},$$

то

$$T_a = T \left(\sqrt{x_m^2 + z_m^2} \operatorname{tg} \theta_{\text{H}} \cos \rho_{\text{H}} \right).$$

Ограничению подлежат отклонения углов θ_{H} и ρ_{H} (см. рис. 5.25, а), здесь учитывают номинальные значения координаты точки m . Установив пределы изменения угла ρ_{H} , а следовательно и β_{H} , от 0 до 360° , придем к выводу, что при каждом из возможных направлений поворота $X_2O_2Z_2$

$$\operatorname{tg} \theta_{\text{H}} \leq \frac{T_a}{\sqrt{x_m^2 + z_m^2} \cos \rho_{\text{H}}}.$$

Наименьшим предельное значение $\operatorname{tg} \theta_{\text{H}}$ будет при ρ_{H} , равном 0 и 180° (или при $\beta_{\text{H}} = \operatorname{arctg} x_m/z_m$). Верхним предельным значением $\operatorname{tg} \theta_{\text{H}}$ будет бесконечность при ρ_{H} , равном 90 и 270° [или при $(\beta_{\text{H}} + 90^\circ)$ и $(\beta_{\text{H}} + 270^\circ)$] поскольку поворот плоскости $X_2O_2Z_2$ вокруг линии O_2m (см. рис. 5.25, б) не влияет на расстояние между точками k и m .

Таким образом, допуск на отклонения α_{Δ} должен быть задан годографом в плоскости $Z_1O_1X_1$, представляющим собой полосу, симметрично простирающуюся относительно начала координат в бесконечность в направлениях $\beta_{\text{H}} \pm 90^\circ$, границы которой отстоят от

начала координат на величину $T_a / \sqrt{x_m^2 + z_m^2}$ (рис. 5.26). Разумеется, протяженность годографа следует ограничить, руководствуясь соображениями о целесообразности его длины.

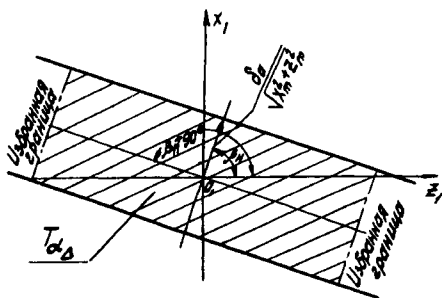


Рис. 5.26. Годограф допустимого относительного поворота исполнительных поверхностей при связи типа "точка—точка"

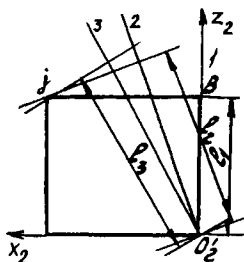


Рис. 5.27. Допустимые значения поворота плоскости $X_2O_2Z_2$ для различных направлений

В других вариантах связи исполнительных поверхностей подход к построению годографа допустимого их относительного поворота будет иным. Например, если служебное назначение машины требует, чтобы отклонения расстояния между всеми противоположащими точками поверхностей A и B находились в пределах допуска T_L , то построение годографа необходимо начинать с выявления точек поверхностей A и B , для которых соблюдение этого требования оказывается наиболее трудным. Такими точками являются точки i и j (см. рис. 5.24, а), расположенные на границах поверхностей и наиболее удаленные от оси OY .

Рассматривая точки i и j перемещающимися по границам поверхностей A и B , можно для каждого из направлений определить предельное допустимое значение $\text{tg}\theta_H$. Например, поворот поверхности B относительно начала O_2 в направлении 1 (рис. 5.27) не должен превышать T_a/l_1 , в направлении 2 — T_a/l_2 , в направлении 3 — T_a/l_3 . В целом допуск T_{α_A} , ограничивающий отклонения $\text{tg}\theta_H$, в направлениях $\beta_H 0...360^\circ$ в этом случае должен быть задан годографом, показанным на рис. 5.28.

Третье слагаемое $T_{\eta_{km}}$ в уравнении допусков ограничивает влияние отклонений формы поверхностей A и B на расстояние L . Поскольку это влияние равноценно со стороны каждой из поверхностей, то отклонения формы каждой из них следует ограничить половиной допуска $T_{\eta_{km}}$ и установить $T_{h_A} = T_{h_B} = 0,5T_{\eta_{km}}$.

С получением исходных данных можно рассчитать размерные цепи A и α и назначить допуски на их составляющие звенья. Так как расстояния между поверхностями деталей находятся в зависимости

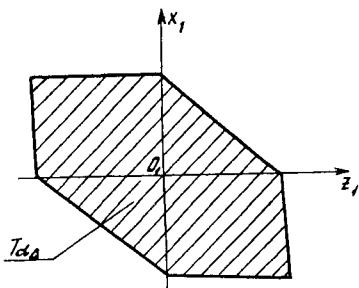


Рис. 5.28. Годограф допустимого относительного поворота исполнительных поверхностей при связи типа "плоскость—плоскость"

от их относительных поворотов и формы, то расчет должен быть начат с расчета допусков, ограничивающих отклонения формы и поворота поверхностей. Эти допуски должны быть учтены в дальнейшем при назначении допусков T_{α_i} .

Распределение допуска $T_{\alpha_{\Delta}}$ между составляющими звеньями α_i сводится к построению годографов, т.е. допусков T_{α_i} . При этом можно воспользоваться методами полной и неполной взаимозаменяемости.

При методе полной взаимозаменяемости распределение допуска замыкающего звена между составляющими звеньями проще проводить пропорционально в каждом из направлений так, чтобы сумма модулей векторов одного направления у составляющих звеньев была бы равной модулю вектора этого же направления у замыкающего звена. В этом случае годографы составляющих звеньев будут подобны по форме годографу замыкающего звена (рис. 5.29, где $k_{\alpha_{\Delta}}$ и k_{α_i} — коэффициенты пропорциональности). При методе неполной взаимозаменяемости следует воспользоваться правилами суммирования случайных несвязанных векторов. Для упрощения расчетов форму годографов целесообразно упрощать. Например, годографы, показанные на рис. 5.29, могут быть заменены эллипсами, вписанными в них, или даже окружностями, показанными на рисунке штриховыми линиями.

Имея допуски на относительные повороты координатных плоскостей, можно установить допуски на отклонения параметров, вызывающих эти повороты, используя ранее приведенные зависимости. Например, поворот плоскости $X_3O_3Z_3$ относительно плоскости XOZ (звено α_2) согласно общим зависимостям

$$\cos \theta_n = \cos \beta \cos (\beta - \Delta \varphi) + \sin \beta \sin (\beta - \Delta \varphi) \cos \theta;$$

$$\operatorname{tg} \beta_n = \frac{1}{\sin \theta} [\sin \beta \operatorname{ctg} (\beta - \Delta \varphi) - \cos \beta \cos \theta],$$

является функцией трех углов θ_2 , β_2 и $\Delta \varphi_2$.

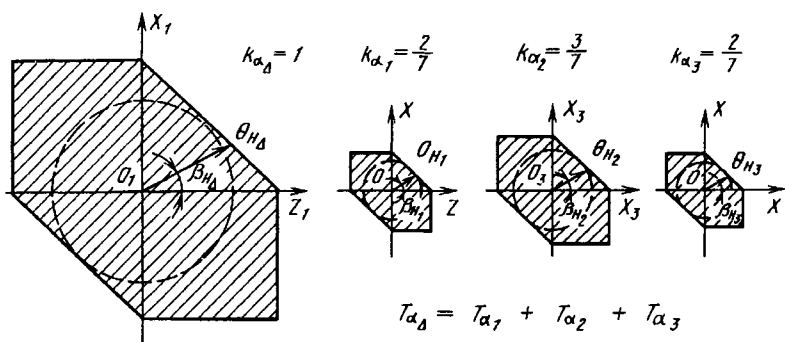


Рис. 5.29. Распределение допуска замыкающего звена α_D между составляющими звеньями α_i

Ограничение допусками их отклонений можно сделать в следующей последовательности, исходя из установленных ранее предельных значений θ_{H2} и β_{H2} .

1. Установить допуск на угол $\Delta\varphi_2$.
2. Решить вопрос о пределах угла β_2 . В данном случае $\beta_2 = 0$ и 360° .

3. Найти нижнее предельное значение угла θ_2 . В примере им должен быть угол, равный 0° .

4. По формуле, определяющей значение $\cos\theta_{H2}$, найти верхние предельные значения угла θ_2 для различных направлений β_2 , исходя из максимально допустимых значений θ_{H2} и $\Delta\varphi_2$.

5. Построить годограф допустимого поворота плоскости контакта $X_3O_3Y_3$ относительно плоскости XOY .

Назначение допусков на параметры, влияющие на поворот α_2 , необходимо закончить заданием допусков на форму поверхностей Γ , M , B , K , D , E и P . Отклонение от плоскостности поверхностей Γ , M , B , K , как направляющих баз, должно быть ограничено,

исходя из допуска $T_{\Delta\varphi_2}$. Одну часть этого допуска $T_{\Delta\varphi_2}^c$ следует выделить для ограничения собственного поворота $X_3O_3Z_3$ относительно XOZ , вторую часть — для ограничения поворота, вызываемого отклонениями формы этих поверхностей, и в соответствии с этим установить допуски на отклонения формы. Также следует подойти и к установлению допусков на отклонения формы поверхностей E , D и P , исходя из допуска на поворот $X_3O_3Y_3$ относительно XOY .

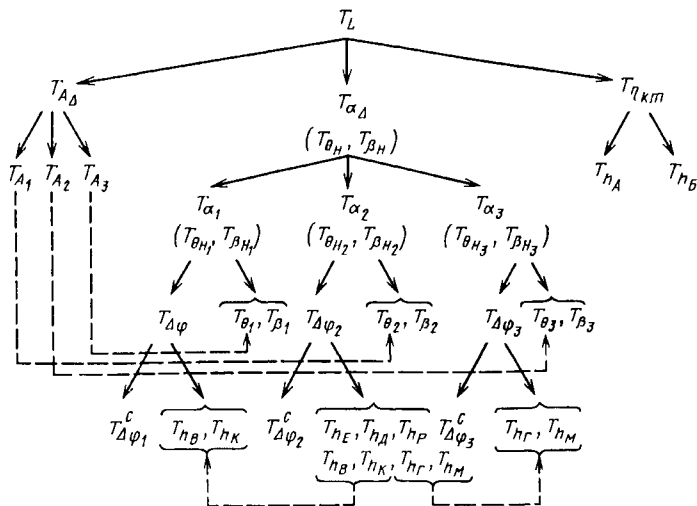


Рис. 5.30. Схема расчета допусков с учетом количественной связи отклонений трех видов

Переход от допусков T_{α_1} и T_{α_3} к допускам на параметры, вызывающие повороты α_1 и α_3 , аналогичен тому, который был рассмотрен в отношении α_2 . Укажем только, что при разделении допусков T_{α_1} и T_{α_3} на собственный и дополнительный повороты следует учесть, что отклонения формы поверхностей баз деталей уже ограничены соответствующими допусками при переходе от T_{α_2} к допускам на параметры, вызывающие поворот α_2 .

При назначении допусков на расстояния между поверхностями деталей следует распределить допуск $T_{A\Delta}$ между составляющими звеньями A_i с учетом допусков, ограничивающих отклонения относительного поворота и формы поверхностей деталей, установленных ранее. Например, ограничив отклонения звена A_1 допуском T_{A_1} , составляющим часть допуска $T_{A\Delta}$, и используя формулу

$$T_{A_1} \geq 2L \sqrt{\frac{1 + \operatorname{tg}^2(\Delta\phi_1^{\max})}{\cos^2(\theta_1^{\max})} - 1} ,$$

можно выяснить соответствие допуску T_{A_1} максимально допустимых значений $\Delta\varphi_1$ и θ_1 . Если требуемого соответствия нет, то необходимо внести коррективы в расчет допусков на относительный поворот и форму поверхностей деталей или в распределение T_{A_Δ} между составляющими звеньями.

Таким образом, использование при расчете допусков зависимостей между отклонениями трех видов позволяет обосновать допуски на отклонения расстояний, относительных поворотов и формы поверхностей деталей машины по строго логической схеме. Применительно к примеру, рассмотренному выше, схема расчета допусков приведена на рис. 5.30.

Принципы и методы оценки точности деталей с учетом количественной связи между отклонениями формы, поворота и расстояния их поверхностей

Целью оценки точности детали ныне применяемыми методами является выявление действительных значений контролируемых параметров. Однако из изложенного выше следует, что действительный размер (слово "размер" применено в обобщающем смысле: оно охватывает и линейный и угловой размеры) по своей природе является случайной величиной. Конкретное значение действительного размера проявляется лишь тогда, когда деталь займет свое место в машине. Отсюда следует, что, контролируя точность детали, следует стремиться не к познанию значения действительного размера, а к выявлению пределов, в которых может проявиться его действительное значение.

Оценка точности детали с таких позиций вполне возможна, если воспользоваться положениями п.5.3, относящимися к задачам второго типа, но при этом методы и средства контроля должны быть иными. Их можно представить в общих чертах применительно к деталям, ограниченным номинально плоскими поверхностями.

Пусть требуется оценить в системе $OXYZ$ точность формы, поворота и расстояния L поверхности B относительно поверхности A детали (плитки), которые являются соответственно вспомогательной и основной установочными базами. Исходными данными будут T_{h_B} — допуск, которым ограничены отклонения формы основной установочной базы детали, присоединяемой к данной детали по поверхности B ; x_R и y_R — координаты точки приложения равнодействующей силового замыкания (рис. 5.31).

Оценку точности детали следует проводить в следующей последовательности.

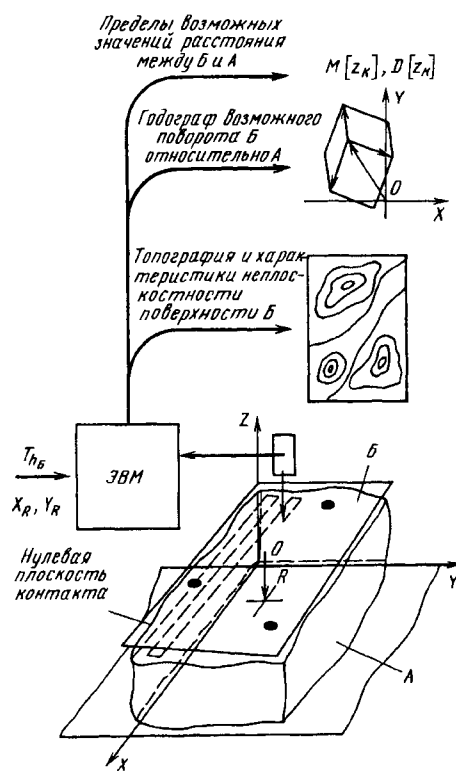


Рис. 5.31. Принципиальная схема оценки точности детали с учетом количественной связи отклонений трех видов

1. Составить описание рельефа поверхности *B* относительно плоскости XOY .

2. Определить на поверхности *B* детали границы областей возможного местонахождения точек контакта.

3. Определить данные для построения годографа или эллипса рассеяния случайного вектора поворота поверхности *B* относительно поверхности *A*.

4. Установить пределы возможных значений действительного расстояния между поверхностями *B* и *A*.

Выполнить указанные действия можно лишь при наличии средств, позволяющих получить описание рельефа поверхности детали при малых затратах времени (возможность быстрого описания рельефа предоставляют, например,

методы голографии) и переработать информацию в искомые характеристики. Для осуществления последнего необходимы вычислительные средства и соответствующее математическое обеспечение. Полное представление о точности детали по указанным параметрам дадут:

карта рельефа поверхности *B* и значения отклонений от плоскостности в каждой ее точке, отсчитываемых от нулевой плоскости контакта;

годограф или эллипс рассеяния вектора поворота поверхности *B* относительно поверхности *A*;

пределы возможных действительных значений расстояния z_K в виде математического ожидания $M\{z_K\}$ и дисперсии $D\{z_K\}$.

Заключение о качестве детали должно быть сделано в результате сопоставления ее фактической точности с требуемой, определяемой допусками, установленными с учетом количественной связи отклонений формы, поворота и расстояния ее поверхностей.

Иллюстрацией эффективности учета количественной связи отклонений трех видов могут служить результаты эксперимента, выполненного канд. техн. наук доцентом Л.И. Птуха. Задачей являлось сопоставление традиционных методов расчета допусков и оценки точности деталей (будем именовать их методами А) с аналогичными методами, но учитывающими количественную связь отклонений трех видов (условно методы Б). В эксперименте требовалось обеспечить в сборочных единицах, состоящих из трех плиток, подобных показанной на рис. 5.31, расстояние A_{Δ} между центральной точкой K верхней плитки и плоскостью, на которую опирается нижняя плитка, при допуске $T_{A_{\Delta}} = 0,08$ мм и $\Delta_{0_{A_{\Delta}}} = -0,07$ мм. Номинальные размеры плиток одинаковые.

Для решения задачи были установлены допуски на отклонения расстояний A_i между поверхностями установочных баз плиток, их относительного поворота и формы методами А и Б. По допускам, рассчитанным по методу А, была изготовлена партия плиток из 144 шт., а затем была проведена оценка их точности методами А и Б. Результаты контроля были сведены в таблицу:

Число деталей при расчете допусков и оценке точности методом

А				Б			
годных		негодных		годных		негодных	
шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
91	62	53	38	69	48	75	52

Далее из деталей, признанных годными, в различных их сочетаниях параллельно были составлены 100 сборочных единиц и в каждой из них значение замыкающего звена определяли непосредственным измерением. Результаты эксперимента приведены ниже в таблице:

Число сборочных единиц при расчете допусков и оценке точности методом

А				Б			
годных		негодных		годных		негодных	
шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
75	75	25	25	96	96	4	4

При этом поле рассеяния измеренных значений замыкающего звена в первом случае составляло 0,244 мм, а во втором 0,088 мм, т.е. было меньше в 2,8 раза.

Интересные результаты были получены на 30 сборочных единицах, составленных из отбракованных деталей:

Число сборочных единиц при расчете допусков и оценке точности методом

А				Б			
годных		негодных		годных		негодных	
шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
8	26	22	74	1	3	29	97

Последняя часть эксперимента показывает, что недостаточно высокая степень надежности традиционных методов расчета допусков и достоверности оценки точности деталей может привести к необоснованной отбраковке значительного числа годных деталей, что подтверждается и непосредственными наблюдениями на производстве.

По прочтении этого раздела читателю может показаться преждевременным включение в учебник материалов, ненашедших пока распространения на практике. По этому поводу автор считает уместным заявить, что учебник должен не только знакомить с накопленным опытом, но также отражать проблемы, пути их решения и содействовать пониманию относительности наших знаний об окружающем мире. Это необходимо для развития творческих способностей, формирования собственного мышления инженера и привития вкуса к поиску.

Уменьшение влияния геометрических отклонений деталей на качество машины в процессе ее сборки

Когда отклонения формы, относительных поворотов, расстояний и размеров поверхностей деталей, поступающих на сборку, превышают установленные пределы, их приходится сокращать до допустимых значений непосредственно в процессе сборки машины. Если в конструкции машины предусмотрены компенсирующие устройства, позволяющие изменять относительное положение монтируемых деталей, то требуемая точность размерных цепей, имеющих подвижные или неподвижные компенсаторы, обеспечивается методом регулирования. В противном случае приходится прибегать к пригоночным работам.

Наиболее распространенными видами пригоночных работ являются опиливание и зачистка, шабрение, притирка, полирование, сверление отверстий "по месту" и их развертывание и др.

Характерными примерами опиливания могут служить снятие припуска на детали-компенсаторе, опиливание сложных поверхностей, поверхностей пазов и выступов при подгонке соединений, опиливание детали по контуру с целью совмещения контуров соединяемых деталей, устранение забоин и заусенцев и др. Опиливание ведут напильниками, надфилями, абразивными кругами и брусками. Опиливание считается грубым при снятии припуска более 0,2 мм и тонким, если удаляемый слой материала не превышает 0,1 мм. Во всех случаях после опиливания поверхность зачищают личным напильником с мелом, шкуркой или оселком. В ряде производств распространена чистовая обработка абразивными лентами в виде бесконечного ремня с нанесенным на его поверхность абразивом. При тонком опиливании может быть достигнута точность около 0,02 мм.

Отделочная обработка поверхностей деталей шабрением заключается в снятии шаберами тонких слоев (около 0,005 мм) материала с обрабатываемой поверхности. Шабрение ведут с применением приспособлений (плит, динеек, оправок), рабочие поверхности которых имеют форму поверхностей сопряжения присоединяемых деталей. На плиту (либо другое приспособление) наносят тонкий слой краски, накладывают плиту на поверхность, подлежащую обработке, и дают плите несколько возвратно-поступательных перемещений. Затем плиту снимают и шабруют места, на которых оказалась краска. Обработку продолжают до тех пор, пока следы краски не станут малыми пятнами, равномерно распределенными на обрабатываемой поверхности. Считается, что для хорошего прилегания деталей по сопрягаемым поверхностям необходимо иметь от 10—12 до 25—30 пятен в квадрате 25×25 мм.

Наиболее высокую точность достигают шабрением "по блеску", т.е. по блестящим пятнам, остающимся на поверхности детали в результате перемещения по ним шабровочного приспособления или самой присоединяемой детали.

При обработке сопрягаемых поверхностей двух сопрягаемых деталей предварительное шабрение поверхностей основных баз присоединяемой детали ведут по плите. Их окончательное шабрение осуществляют, используя поверхности вспомогательных баз базирующей детали как эталон. Делают это для того, чтобы не нарушить относительного положения комплектов вспомогательных баз у базирующей детали, достигнутого в процессе их обработки.

При шабрении поверхностей детали, составляющих комплект баз, важной оказывается последовательность их обработки. Для придания

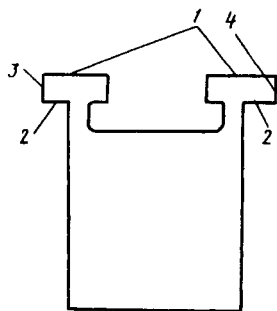


Рис. 5.32. Последовательность шабрения направляющих станины

требуемого относительного положения базам, входящим в комплект, первой должна быть окончательно обработана база, несущая большее число теоретических опорных точек, и взята за начало отсчета в дальнейшей обработке. В соответствии с этим шабрение направляющих станины станка (рис. 5.32) нужно вести в следующей последовательности.

Первыми должны быть обработаны поверхности 1, выполняющие роль вспомогательной установочной базы. Базируя шабровочную плиту на эти поверхности, обрабатывают поверхности 2, противолежащие им, боковую поверхность 3, являющуюся вспомогательной направляющей базой, и противоположную ей поверхность 4.

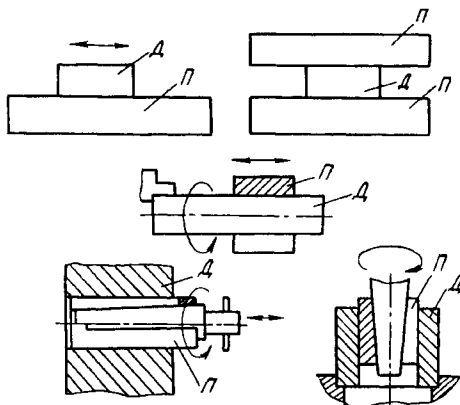
Шабрением можно исправить с высокой точностью все виды геометрических отклонений поверхностей деталей (размеров, относительного положения и формы). Например, шабрением можно достичь плоскостности и прямолинейности поверхностей до 0,002 мм на длине 1000 мм при шероховатости поверхности $Ra = 0,1$ мкм.

Однако шабрение — это очень трудоемкий процесс, требующий труда высокой квалификации. Последнее объясняется тем, что в процессе шабрения одновременно должен быть решен комплекс задач: обеспечение требуемой точности формы, относительного поворота и расстояния (или размера) между поверхностями детали. Упущение точности одного из показателей не может быть восполнено вне связи с другими. Поэтому к шабрению обычно прибегают в тех случаях, когда другие способы и средства отделочной обработки не в состоянии обеспечить требуемую точность деталей и качество их поверхностей.

Притирка — способ тонкой отделочной обработки, представляет собой процесс резания абразивными зёрнами, находящимися между поверхностями притира и детали. Относительное движение поверхностей притира и детали приводит к движению зёрен материала, к их внедрению в притир и деталь и срезу с их поверхностей неровностей. Притирку применяют для получения точного размера и формы поверхности детали или для достижения плотного прилегания поверхностей, обеспечивающего гидравлическую непроницаемость соединения. Достижимая точность размеров при притирке находится на уровне 0,1 мкм. Припуск под притирку не превышает 0,03–0,05 мм.

Рис. 5.33. Способы притирки деталей:

П — притир; *Д* — деталь



Существуют два способа притирки — одной детали по другой (притирка клапанов, пробок и др.) и каждой из деталей по притиру. С помощью притиров доводят детали топливной и гидравлической аппаратуры, высокоточные детали машин, приборов и устройств, имеющие плоские, цилиндрические и более сложные формы поверхности. Притирами могут быть плиты, бруски, конусы, разрезные втулки и т.п. (рис. 5.33), изготовленные из чугуна, стали или стекла. Чугунные притиры применяют для притирки стальных деталей, стальные — для притирки чугунных деталей, стеклянные — для притирки деталей из цветных материалов.

В качестве притирочных материалов используют абразивные порошки или пасты различной зернистости. Для ускорения притирки ее начинают с крупнозернистых абразивов (размер зерен от 14 до 28 мкм), а заканчивают, применяя абразив с размером зерен от 5 до 10 мкм. При притирке обязательно используют смазывающие жидкости: машинное масло, олеиновую кислоту, керосин, скипидар и др. Процесс притирки ведут при давлении, равном 0,1—0,15 МПа. Завершается процесс тщательной очисткой от абразивных материалов и промывкой деталей.

Полирование применяют обычно для уменьшения шероховатости поверхностей деталей. Полирование не дает повышения точности размеров, относительного положения и формы поверхностей деталей. Оно может даже привести к снижению точности этих показателей в пределах удаляемого слоя материала, составляющего 0,005—0,007 мм.

Полирование осуществляют с помощью вращающихся со скоростью 30—50 м/с эластичных кругов, на поверхность которых наносят абразивную смесь с вязущим веществом или полировочную мастику. Круги устанавливают на шпинделях быстрходных шлифовальных или сверлильных ручных машин, а при больших объемах полировочных работ создают из них верстачные установки или применяют специальные полировальные станки.

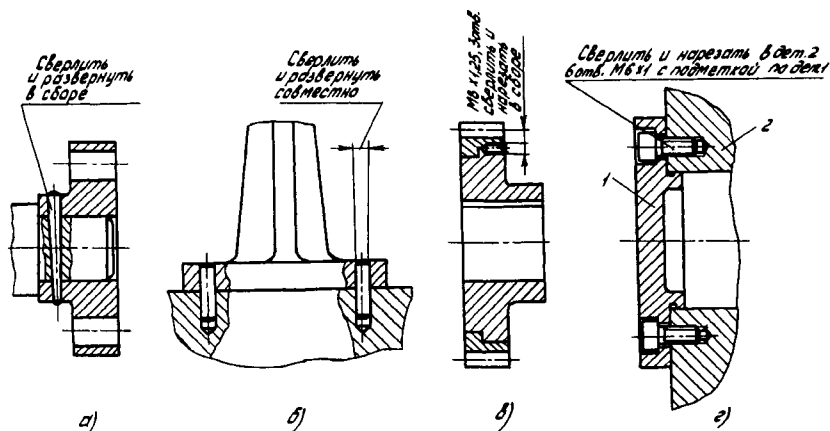


Рис. 5.34. Сборочные единицы, нуждающиеся в обработке отверстий в процессе сборки

Следует иметь в виду, что полирование относится к числу процессов, вредных для здоровья человека. Поэтому полировочные работы выполняют в отдельных помещениях с хорошей вентиляцией или на специально отведенных рабочих постах. После полирования детали тщательно протирают сукном, обмывают бензином и досуха обдувают сжатым воздухом.

Значительную долю работ, выполняемых при сборке, может составлять обработка крепежных отверстий. Необходимость выполнения таких работ при сборке объясняется специфическими особенностями конструкции сборочных единиц (рис. 5.34, а—в), когда для фиксации относительного положения двух соединенных деталей требуется установка штифтов или установочных винтов, либо когда в процессе изготовления деталей невозможно или невыгодно обрабатывать крепежные отверстия в обеих соединяемых деталях (рис. 5.34, г).

Установка штифтов требует идеального совмещения осей отверстий в базирующей и смонтированной на ней деталях. Этого можно достичь только путем совместного сверления и развертывания отверстий в спаренных деталях. При выполнении таких операций очень важно не допустить относительного сдвига смонтированных деталей при транспортировании к станку, установке на станке и в процессе обработки отверстий.

В мелкосерийном и единичном производстве распространен случай, когда крепежные отверстия в базирующих деталях сверлят

при сборке "по подметке" по деталям, присоединяемым к ним, а затем нарезают резьбы. В таких случаях присоединяемую деталь устанавливают на место, через крепежные отверстия, имеющиеся в ней, размечают отверстия в базирующей детали, и, удаляя присоединяемую деталь, обрабатывают крепежные отверстия в базирующей детали.

Сборочные цехи обычно имеют сверлильные станки, размещаемые вблизи линии сборки или непосредственно на рабочих местах. Помимо этого при сборке широко используют электрические и пневматические ручные сверлильные машины, а также головки с реверсивными механизмами для нарезания резьбы.

5.4. ДЕФОРМИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ СБОРКИ МАШИНЫ

Деформирование деталей под воздействием сил тяжести

Деформации такого рода особо значимы у деталей с большой массой и недостаточно жестких. Примером подобных деталей могут быть базирующие детали машин (станины, основания, рамы), отличающиеся большими габаритными размерами, массой и невысокой жесткостью. Деформирование таких деталей под действием собственной силы тяжести возникает уже при установке их на фундамент или стенд. Деформирование возрастает при установке на них деталей и сборочных единиц.

В тех случаях, когда деформации базирующих деталей сравнительно невелики, ими пренебрегают. Если же деформации оказываются сопоставимыми с допусками, ограничивающими отклонения геометрических показателей того или иного вида, приходится предпринимать меры по уменьшению последствий деформирования. Такими мерами могут быть следующие.

1. Повышение жесткости базирующих деталей увеличением числа опор, на которые их устанавливают. Деталь ставят на жесткий фундамент на три неподвижные и дополнительные подвижные опоры в виде регулируемых клиновых опор, домкратов и т.п. Измеряя деформации детали, их уменьшают до нужных значений, регулируя подвижные опоры и создавая необходимые силовые замыкания, закрепляя деталь.

2. Преднамеренное наделение изготавливаемой детали погрешностью, противоположной по характеру и значению деформации детали, возникающей в процессе сборки машины. Искусственно создаваемую погрешность рассчитывают или определяют эксперимен-

тально, нагружая базирующую деталь монтируемыми на ней деталями и механизмами или специальными грузами. Так, для обеспечения прямолинейности длинных направляющих станин некоторых станков при установке станины на операции отделочной обработки ее деформируют, придавая направляющим отклонение в сторону вогнутости. После обработки за счет упругих свойств материала станина деформируется в обратном направлении, и направляющие получают отклонение в сторону выпуклости. Под тяжестью смонтированных на станине каретки с суппортом, стола и т.п. направляющие станины выпрямляются.

3. Исправление деформированных поверхностей шабрением при сборке машины. Часто дополнительной обработке подвергаются поверхности основных (вспомогательных) баз базирующей детали сборочной единицы, деформированные под тяжестью смонтированных на ней деталей.

Дополнительная обработка отдельных деформированных поверхностей не должна нарушать размерных связей между ними и другими поверхностями детали. Поэтому, намечая такую обработку, прежде следует выяснить, не повлечет ли дополнительная обработка потерю точности относительного положения поверхностей, подвергаемых обработке и дополнительно необрабатываемых.

Деформирование деталей при закреплении

При закреплении винтами, болтами и шпильками с гайками детали и сборочные единицы попадают в сложные условия. Во-первых, отклонения формы и относительного поворота поверхностей, составляющих комплекты основных и вспомогательных баз соединяемых деталей, приводят к случайному местоположению их точек контакта в момент соприкосновения. Во-вторых, отклонения поворота крепежных отверстий относительно баз деталей, неперпендикулярность площадок, на которые опираются гайки и головки болтов, относительно осей крепежных отверстий, а также неперпендикулярность торцов болтов к их резьбе смещают точки приложения сил закрепления от осей крепежных деталей к краям гаек или головок болтов. В-третьих, из-за колебаний сил затяжки, сил сопротивления в резьбах силы закрепления отличаются от своих расчетных значений. В результате на закрепляемую деталь или сборочную единицу воздействует случайно сформировавшаяся система сил. Немалую роль в ее формировании будут играть конструктивные особенности детали, свойства материала, последовательность затяжки крепежных деталей и др.

Перечисленные факторы приводят к пластическому и упругому деформированию стыков, самих деталей и сборочных единиц. При

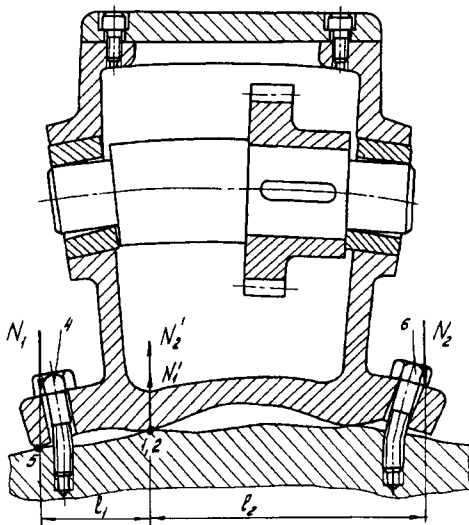
Рис. 5.35. Характер деформирования деталей редуктора при закреплении

этом в процессе закрепления могут возникать деформации изгиба, кручения и других видов, снижающие качество сборки и работоспособность изделий.

Понимая сложность описания явлений, происходящих при закреплении собранного редуктора на каком-то жестком основании, и отдаленность такого описания от действительности, все же попытаемся представить их и последствия, ими вызываемые (рис. 5.35).

При установке редуктора на основание отклонения формы поверхности баз приведут к контакту корпуса редуктора с основанием в трех случайно подобравшихся точках, например, в точках 1—3. Предположим, что точки 1 и 2 расположены одна за другой. При закреплении винтом 4 под воздействием пары сил $N_1 N_1'$ редуктор опрокинется относительно линии, соединяющей точки 1 и 2, и соприкоснется с основанием в точке 5, оторвавшись от точки 3. Установка винта 6 и его затяжка вызовет деформацию корпуса и его касание с основанием с правой стороны. При закреплении деформируются не только донная часть и полки корпуса, но и его боковые стенки, что может нарушить положение подшипников и привести к заземлению вала. Деформируются и крепежные детали из-за чего их работа не будет соответствовать расчетной схеме.

Конечно, действительная картина явлений, сопутствующих креплению редуктора на основании, будет более сложной, так как корпус будет деформироваться не в плоскости рисунка, а в пространстве. При этом редуктор крепят не двумя винтами, а большим числом, последовательность и значения сил затяжки которых могут быть различными. Даже при строгом соблюдении порядка действий по установке и закреплению одинаковых сборочных единиц будут получаться неодинаковые результаты.



Уменьшению погрешностей сборки, являющихся следствием деформирования деталей при закреплении, может способствовать следующее.

1. Конструктивное оформление поверхностей баз деталей и средств крепления, исключаящее или, по крайней мере, уменьшающее возможность возникновения при закреплении пар сил, изгибающих и скручивающих детали. При разработке конструкции изделия следует соблюдать правила в отношении размеров поверхностей баз, ограничении допусками отклонений формы и относительного поворота поверхностей баз, составляющих комплект, размещения точек приложения силового замыкания. Те же правила распространяются и на технологические базы и будут более подробно изложены ниже.

2. Затяжка крепежных деталей с равномерной силой. Этому, прежде всего, способствует правильное ограничение допусками отклонений средних диаметров резьб, приводящих к колебаниям сил сопротивления при завинчивании крепежных деталей. Особенно важно соблюдать требуемые соотношения средних диаметров внутренних и наружных резьб в соединениях с натягом. В таких соединениях примерно 80 % энергии, расходуемой на весь процесс завинчивания, затрачивается на преодоление сил трения в резьбе и около 20 % на затяжку. Для обеспечения равномерности сил трения в ответственных случаях крепежные детали сортируют по среднему диаметру на группы, а их установка сопровождается подбором по размерам резьб, в которые крепежные детали ввинчивают.

Обеспечение требуемой силы затяжки резьбового соединения является ответственной частью процесса сборки, определяющей не только значения напряжений в соединяемых деталях, но и в деталях самого резьбового соединения. Требуемый момент затяжки может быть создан с помощью предельных ключей, автоматически выключающихся при достижении заданного момента затяжки, или динамометрических ключей с указателем значения прилагаемого момента. Однако колебания сил трения в резьбах и трения торцов гаек или головок винтов о площадки, на которые они опираются, нарушают стабильность сил затяжки при том же значении крутящего момента на ключе. Учесть достаточно точно силу трения в конкретной резьбовой паре позволяют устройства, измеряющие осевую силу затяжки. Описание таких устройств и инструментов, применяемых для сборки резьбовых соединений, дано в книге М.П. Новикова [18].

3. Обеспечение в процессе изготовления деталей, подлежащих соединению, правильного положения крепежных отверстий и площадок, на которые опираются гайки и головки болтов и винтов.

Допущенные отклонения от перпендикулярности оси резьбового отверстия относительно вспомогательной базы базирующей детали

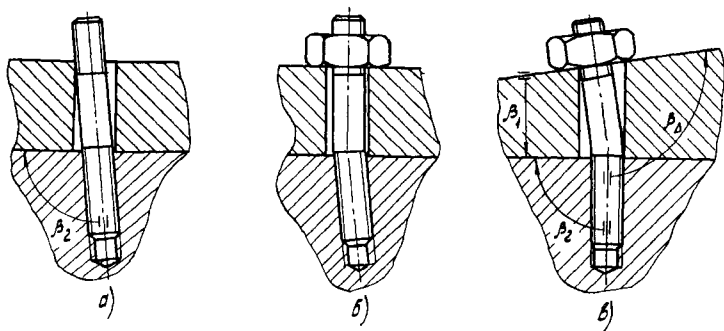


Рис. 5.36. Погрешности, возникающие при сборке резьбовых соединений

(размер β_2 на рис. 5.36, а) приведут к перекосу шпильки или винта при ввинчивании и изгибу при затяжке (рис. 5.36, б). Изгиб крепежных деталей возможен и при наличии отклонений от параллельности площадок под гайку, головки винтов и болтов у присоединяемой детали относительно ее основной базы (размер β_1 , на рис. 5.36, в). В обоих случаях точка приложения силы закрепления сместится от центра гайки, головки винта или болта к краю.

В процессе сборки нередко обнаруживается перекося крепежных деталей, например шпилек. Перекос шпильки, особенно в тяжело нагруженном соединении, очень опасная погрешность, результатом которой может быть обрыв шпильки из-за перенапряжения. Если перекося шпильки превышает допустимые границы, то такую шпильку удаляют, а отверстие сверлят и нарезают под специальную шпильку, имеющую большую резьбу.

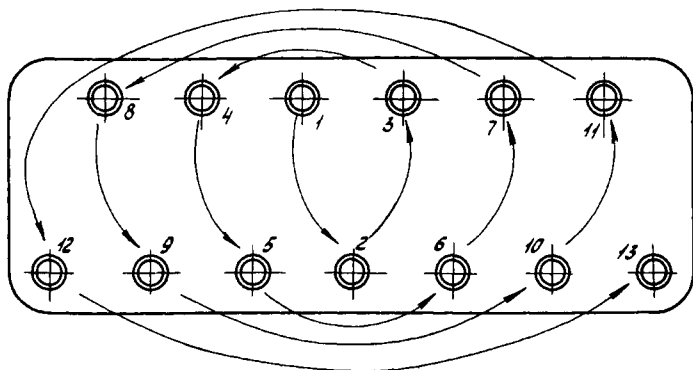


Рис. 5.37. Последовательность затяжки винтов и гаек

4. Соблюдение определенной последовательности заворачивания гаек или винтов при большом их числе. Последовательность закрепления гаек и винтов основана на принципе сокращения упругих деформаций сопрягаемых деталей в направлении от середины к краям. Сначала затягивают средние гайки или винты, затем соседние справа и слева и т.д. (рис. 5.37). Гайки и винты, расположенные по кругу, затягивают крест-накрест. Крепежные детали затягивают постепенно: вначале наполовину или треть затяжки, затем в том же порядке на две трети затяжки и до конца.

В групповых резьбовых соединениях затяжка последующих гаек или винтов ослабляет затяжку предыдущих, поэтому после окончательной затяжки крепежных деталей их необходимо подтянуть. При наличии в сопряжении упругой прокладки крепежные детали также нуждаются в подтяжке через 24 или 48 ч после сборки.

Деформирование деталей при соединении с натягом

Соединения деталей с натягом сравнительно широко распространены в машиностроении. В таких соединениях охватываемая деталь имеет больший наружный размер, чем размер отверстия в охватывающей детали, в результате чего в материалах соединенных деталей возникают напряжения и силы трения, препятствующие их сдвигу. Вследствие натяга на поверхностях контакта возникают давления p , определяющие характер деформирования охватываемой и охватывающей деталей. Теоретическая диаграмма запрессовки и схема продольно-прессового соединения приведены на рис. 5.38.

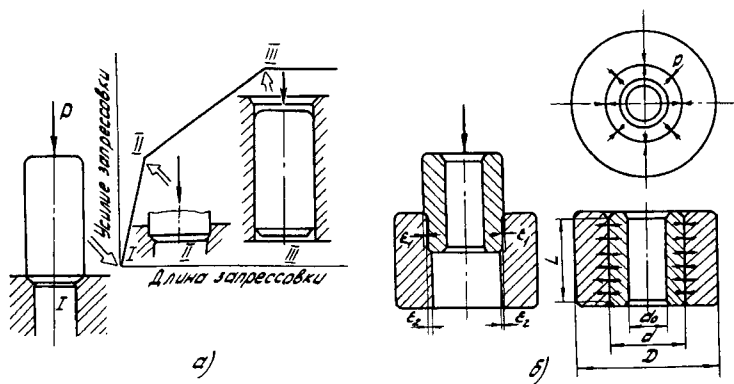


Рис. 5.38. Запрессовка:

a — теоретическая диаграмма: *I* — ориентация деталей; *I–II* — направление; *II–III* — запрессовка; *б* — схема продольно-прессового соединения

Если придерживаться теоретической диаграммы, считая, что контактирующие поверхности деталей цилиндричны, шероховатость поверхностей отсутствует, а свойства материала каждой детали однородны, то, пользуясь решением задачи Ляме для толстостенных цилиндров можно определить усадку отверстия во втулке

$$\Delta u = \varepsilon S,$$

где ε — усадка диаметра отверстия при натяге, равном единице; S — натяг неподвижного соединения.

Усадка

$$\varepsilon = \frac{2a}{(1-a^2) \left[\left(\frac{1+a^2}{1-a^2} - \mu_b \right) + \frac{E_b}{E_a} \left(\frac{1+\beta^2}{1-\beta^2} + \mu_a \right) \right]},$$

где $a = r_0/r$ — отношение радиуса отверстия во втулке к радиусу наружной поверхности втулки или радиусу отверстия в охватывающей детали; $\beta = r/R$ — отношение радиуса отверстия в охватывающей детали к радиусу ее наружной поверхности; E_b, E_a — модуль упругости соответственно материалов втулки и охватывающей детали; μ_b, μ_a — коэффициент Пуассона соответственно материалов втулки и охватывающей детали.

В действительности процесс запрессовки и его результаты имеют отклонения от теоретической схемы, порождаемые:

макрогеометрическими отклонениями поверхностей сопряжения деталей, их волнистостью и шероховатостью;

неоднородностью свойств материала как в соприкасающихся поверхностных слоях, так и в остальных частях деталей;

нецентральной приложением усилия запрессовки;

дефектами и загрязнением поверхностей сопряжения соединяемых деталей.

Поэтому фактические усадки $\Delta \phi_{\Pi}$ втулок не соответствуют их расчетным значениям Δu_{Π} . В НИИПТМАШе были проведены экспериментальные исследования по определению фактических усадок втулок и колебания коэффициента трансформации усадки

$$k_{\text{тр}} = \Delta \phi_{\Pi} / \Delta u_{\Pi}.$$

На рис. 5.39 приведены кривые распределения значений $k_{\text{тр}}$ для посадок с натягами (рис. 5.39, а) и переходных (рис. 5.39, б) посадок

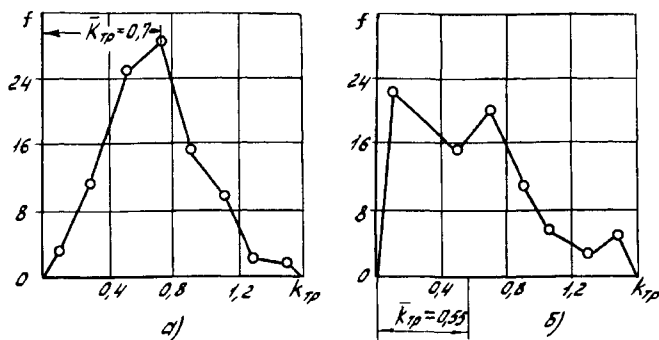


Рис. 5.39. Распределение значений коэффициента трансформации для посадок с натягом (а) и переходных (б)

втулок, построенные по результатам экспериментов. Кривые рассеяния значений $k_{тр}$ для переходных посадок по своей форме отличается от нормального распределения, что характерно для посадок с натягом. Это отличие, видимо, объясняется тем, что отклонения формы поверхностей деталей при посадках с натягом оказывают меньшее влияние на характер рассеяния посадок.

Отклонения формы поверхностей сопряжения соединяемых деталей приводят к неравномерному распределению давления и деформаций деталей как в процессе соединения, так и по завершении его. Это вызывает неравномерное расширение охватывающей и усадку охватываемой деталей в их продольном и поперечном направлениях. В результате могут возникнуть не только отклонения формы отверстия во втулке и наружной поверхности охватывающей детали, но и отклонения относительного положения запрессованной детали.

Аналогичные явления вызывает и неоднородность свойства материалов соединяемых деталей. Неравномерные упругие свойства материалов деталей в различных их частях отражаются на распределении давлений, а следовательно, на качестве и точности соединения деталей с натягом.

Причиной недоброкачества сборки может быть нецентральный приложенный силы к запрессовываемой детали, особенно в первоначальный период ее наживления. Перекос запрессовываемой детали может привести к образованию задиров, трещин и выходу из строя одной или обеих деталей.

Всевозможные отклонения от теоретической схемы запрессовки могут привести к схеме базирования деталей, отличной от предусмотренной в конструкции изделия. Например, положение наружных

колец подшипников принято определять с помощью комплекта баз, состоящего из установочной (торец кольца), двойной опорной (наружная цилиндрическая поверхность) и опорной баз (рис. 5.40, а). Неправильное осуществление посадки кольца и явления, сопутствующие процессу его посадки, могут вызвать смену баз, в результате которой торец кольца будет выполнять роль опорной базы, а цилиндрическая поверхность, несмотря на свою малую протяженность, двойной направляющей базы (рис. 5.40, б). Смена баз у наружного кольца приведет к ненормальной работе всего подшипника и его ускоренному изнашиванию.

Повышению качества и уменьшению трудоемкости соединения деталей с натягом может способствовать следующее.

1. Изменение размера одной из сопрягаемых деталей или обеих одновременно за счет разности их температур. Если охватываемую деталь охладить до температуры

$$t_0 = \frac{(d_2 - d_1) + \Delta_n}{k_\alpha d_2},$$

где d_2 — диаметр охватываемой детали; d_1 — диаметр охватывающей детали; Δ_n — наименьший зазор, обеспечивающий свободное соединение сопрягаемых деталей; k_α — коэффициент линейного расширения материала охлаждаемой детали, то ее можно свободно ввести в отверстие сопрягаемой детали и забазировать с требуемой точностью.

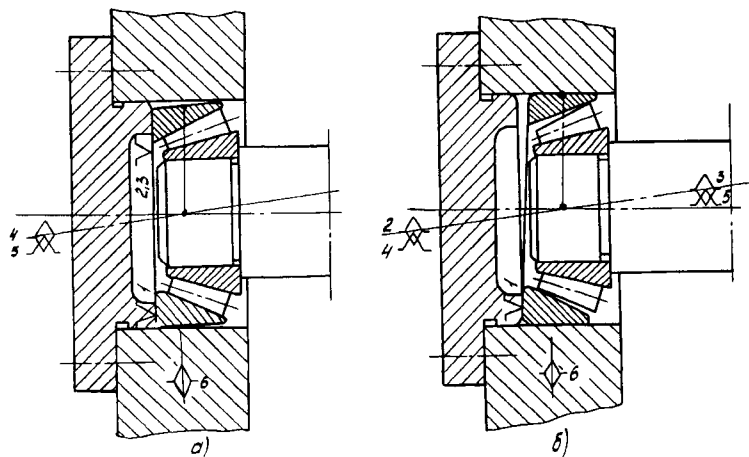


Рис. 5.40. Смена баз наружного кольца подшипника вследствие его неправильной посадки

По достижении охватываемой деталью температуры окружающей среды будет создан необходимый натяг между нею и охватывающей деталью.

Аналогичный эффект может быть достигнут при нагреве охватывающей детали до температуры

$$t_{\text{н}} = \frac{d_2 - d_1}{k_{\alpha} d_1},$$

но не выше 350—370 °С.

При значительных натягах одну из сопрягаемых деталей охлаждают, другую нагревают для получения зазора и свободного их соединения.

Для охлаждения деталей используют твердую углекислоту ($t = 78,5$ °С), жидкий азот, кислород или воздух ($t = - (180...195)$ °С). Охлаждение ведут в термостатических камерах или шкафах. Для нагрева используют масляные ванны или газовые среды с различными источниками теплоты.

Прочность посадок с нагревом при передаче крутящего момента больше прочности обычных посадок. Объясняется это тем, что при посадках с нагревом микронеровности сопрягаемых поверхностей не сглаживаются, а как бы сцепляются друг с другом. При этом лучшие результаты, как показали исследования, дает соединение при охлажденной охватываемой детали.

Сборка с использованием тепловых методов менее трудоемка. При соединении с натягом крупногабаритных деталей затраты времени сокращаются в 2—4 раза. Кроме того, часто упрощается и удешевляется сборочное оборудование, например отпадает необходимость в прессах.

2. Устранение относительных перекосов деталей, особенно в первоначальный момент их соединения. Большое значение имеет правильное базирование деталей на столах, подставках, оправках и т.п. и возможность свободного перехода к базированию деталей одной по другой в процессе сопряжения. Необходимое перебазирование деталей в процессе соединения обеспечивается плавающими столами или упругими элементами в устройствах, базирующих одну из деталей. Некоторые виды технологической оснастки, применяемой для соединения деталей с натягом, описаны М.П. Новиковым в книге [18].

3. Соответствие силы запрессовки натягу. Наибольшая сила запрессовки, необходимая для сборки продольно-прессового соединения с гарантированным натягом

$$P = f_{\text{зап}} \pi p d L,$$

где $f_{\text{зап}}$ — коэффициент трения при запрессовке; p — давление на поверхностях контакта, МПа; d — диаметр поверхности сопряжения охватываемой детали, мм; L — длина запрессовки, мм.

Давление (см. рис. 5.38)

$$p = \frac{1}{d} \frac{\delta \cdot 10^3}{(C_1/E_1 + C_2/E_2)},$$

где δ — расчетный натяг, мкм; E_1 и E_2 — модули упругости материала охватываемой и охватывающей деталей;

$$C_1 = \frac{d^2 + d_0^2}{d^2 - d_0^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{D^2 + d}{D^2 - d} + \mu_2;$$

здесь μ_1 и μ_2 — коэффициенты Пуассона.

Усилие запрессовки может быть уменьшено введением смазочного материала, в качестве которого используют машинное, сурепное, авиационное масла и др. Значительное влияние на усилие запрессовки оказывает скорость, с какой она осуществляется. Обычно скорость запрессовки равна 1—10 мм/с. Однако наибольшая прочность соединения достигается при малых скоростях (до 3 мм/с). На усилие запрессовки влияет также угол конуса концевой части запрессовываемой детали. Наименьшее усилие запрессовки соответствует углу около 10° .

4. Тщательная очистка или промывка деталей перед соединением с натягом. Наличие на поверхностях сопряжения заусенцев, забоин и даже незначительная загрязненность поверхностей приводят к задирам и снижению качества соединения. Для предотвращения задилов сопрягаемые поверхности покрывают тонким слоем смазочного материала.

5.5. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Процесс сборки машины сопровождается многочисленными измерениями, с помощью которых оценивают геометрическую точность собранной машины и другие показатели ее качества. Так как ни одно измерение не может быть выполнено абсолютно точно, то присущие ему отклонения влияют, естественно, на качество машины.

Погрешность измерения представляет собой степень приближения познанного значения измеряемой величины к ее действительному значению. Так, если отнести это положение к измерению размера A

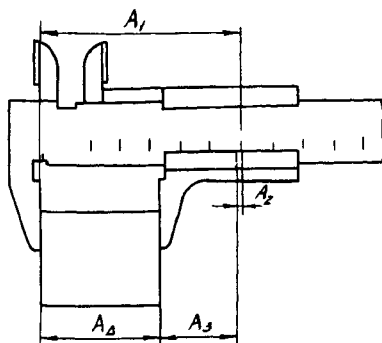
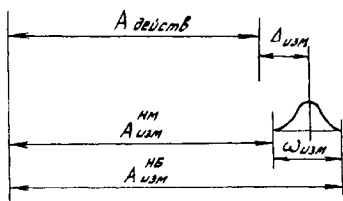


Рис. 5.41. Схема образования погрешности измерения

Рис. 5.42. Измерительная размерная цепь, с помощью которой познается значение размера A_{Δ}

детали, то образование погрешности измерения может быть отражено схемой, приведенной на рис. 5.41. Погрешность измерения составляет систематическая погрешность $\Delta_{\text{изм}}$, дополняемая в каждом конкретном измерении случайной ошибкой, значение которой может находиться в пределах $\omega_{\text{изм}}$. Рассеяние случайных отклонений чаще подчинено нормальному закону. Таким образом, познанное значение размера A может находиться где-то между значениями $A_{\text{изм}}^{\text{нм}}$ и $A_{\text{изм}}^{\text{нб}}$.

Линейные или угловые размеры измеряют всегда относительно каких-то поверхностей, выбираемых в качестве измерительных баз. При этом измеряемый объект включается в размерные, а иногда и в кинематические цепи, замыкающими звеньями которых являются познанные значения измеряемых величин. На рис. 5.42 показано измерение расстояния между торцовыми поверхностями плитки штангенциркулем. Размерная цепь A , образовавшаяся при измерении, отображает размерные связи, с помощью которых познается значение расстояния A_{Δ} . Отклонения, возникшие в процессе измерения на составляющих звеньях этой размерной цепи, суммируясь, определяют отклонение, с которым будет познано действительное значение измеряемого размера.

Процесс измерения состоит обычно из трех этапов: установки, настройки системы измерения и собственно измерения.

На первом этапе устанавливают измерительный инструмент, прибор или приспособление на измеряемом объекте или, наоборот, измеряемый объект на средствах измерения. Установку осуществляют путем соприкосновения измерительных баз измеряемого объекта с рабочими поверхностями измерительного инструмента, прибора или приспособления и наоборот. В результате установки с приложением силы для фиксации относительного положения измеряемого объекта и средств измерения возникает погрешность установки ω_y .

Основными причинами погрешности установки являются: отклонение поверхностей измерительных баз объекта измерения от правильной геометрической формы и их шероховатость; состояние рабочих поверхностей измерительного инструмента, прибора или приспособления; неправильное и неоднородное по значению приложение сил, фиксирующих относительное положение измеряемого объекта и средств измерения; недостаточная квалификация лица, производящего измерение.

На втором этапе проводят статическую настройку размерных (кинематических) цепей для проведения измерения. Настройка является статической, потому что при проведении ее не возникает рабочих нагрузок. Первый и второй этапы можно менять местами, т.е. этап настройки может быть выполнен ранее этапа установки. Например, штангенциркуль (см. рис. 5.42) был настроен в процессе изготовления на заводе, т.е. были нанесены деления на линейку и штрих на ползушку, по которому осуществляют отсчет. При определении значения A_{Δ} отклонения, допущенные при настройке штангенциркуля, проявятся на составляющих звеньях A_1 и A_3 .

Погрешность статической настройки ω'_c зависит от правильного выбора методов и средств, используемых при настройке, погрешности отсчета, состояния измерительного инструмента, прибора или приспособления, недостаточной квалификации лица, производящего настройку и других факторов.

В процессе собственно измерения в системе измерительный инструмент — измеряемый объект возникает погрешность динамической настройки ω'_d , зависящая от следующих факторов: сил, возникающих в процессе измерения, и непостоянства их значений; степени жесткости средства и объекта измерения; колебаний температуры измеряемого объекта и измерительного инструмента; их состояния; недостаточной квалификации лица, производящего измерение, и ряда других факторов.

Таким образом, погрешность измерения представляет собой сумму погрешностей, возникающих на каждом из этапов процесса измерения. Погрешность измерения

$$\omega_{\text{изм}} = \omega'_y + \omega'_c + \omega'_d.$$

Эту запись следует рассматривать не как математическое выражение, а лишь как смысловое формирование погрешности измерения. При каждом отдельном измерении погрешность измерения будет представ-

лать собой алгебраическую сумму отклонений, возникших на каждом этапе измерения. Погрешность измерения при нескольких повторных измерениях характеризуется двумя величинами $\Delta_{\text{изм}}$ и $\omega_{\text{изм}}$ (см. рис. 5.41), где $\Delta_{\text{изм}}$ — алгебраическая сумма систематических отклонений, имевших место в процессе измерения, а $\omega_{\text{изм}}$ — поле рассеяния случайных отклонений, определяемое квадратичным суммированием полей рассеяния случайных отклонений, возникающих на этапах установки и собственно измерения при условии, что измерения ведут при одной настройке инструмента, прибора или приспособления.

Размерные связи, образующиеся при измерении, могут быть весьма сложными. Поэтапное раскрытие их позволяет понять процесс формирования погрешности измерения и предпринять меры по удержанию ее в пределах допуска или найти пути к ее уменьшению. В качестве примера, поясняющего это положение, рассмотрим задачу определения высоты цилиндра с помощью индикатора, настраиваемого по эталону (рис. 5.43).

При таком способе измерения высота A_{Δ} цилиндра будет познаваться через решение размерной цепи A (рис. 5.43, а), в которой A_1 — отклонение от эталона, определяемое по индикатору при непосредственном измерении; A_2 — аттестационный размер эталона.

На этапе собственно измерения отклонение A_1 от уровня настройки индикатора (начала отсчета) является замыкающим звеном B_{Δ} размерной цепи B (рис. 5.43, б), в которой B_1 — звено, учитывающее точность работы индикатора; B_2 — звено, определяющее положение индикатора в системе измерения; B_3 — звено, учитывающее погрешность установки стойки на плите; B_4 — звено, учитывающее погрешность установки цилиндра на плите; B_5 — звено, определяющее положение начала отсчета относительно измерительной базы.

Задачей настройки системы измерения является установка индикатора на стойке на расстоянии B_2 относительно плиты, являющейся

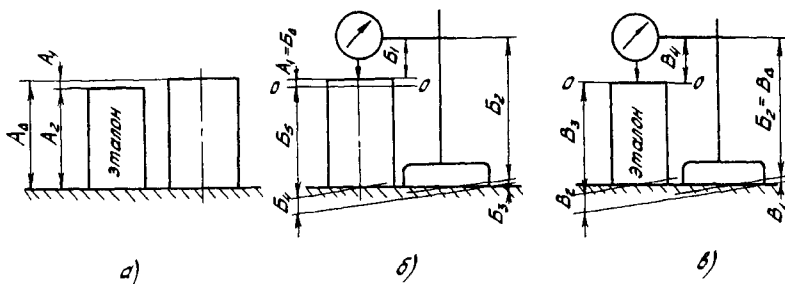
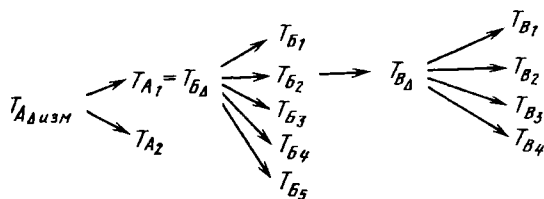


Рис. 5.43. Размерные цепи, обеспечивающие познание значения размера A_{Δ} с помощью индикатора

Рис. 5.44. Распределение допуска $T_{A_{\Delta \text{изм}}}$



измерительной базой (рис. 5.43, в). Поэтому B_2 следует рассматривать как замыкающее звено B_{Δ} размерной цепи B . Ее составляющими являются следующие звенья: B_1 — звено, учитывающее погрешность установки стойки; B_2 — звено, учитывающее погрешность установки эталона; B_3 — размер эталона в момент настройки системы измерения; B_4 — звено, учитывающее погрешность работы индикатора и ошибку, допущенную при установке его лимба на ноль.

Вскрытые размерные цепи позволяют, исходя из требуемой точности измерения высоты цилиндра, определяемой допуском $T_{A_{\Delta \text{изм}}}$, предъявить требования к точности исполнения этапов процесса измерения и используемых средств. Схема распределения допуска представлена на рис. 5.44.

При разборе этой задачи читатель может оказаться в недоумении из-за того, что в различных размерных цепях составляющими звеньями оказываются одни и те же размеры, например, B_3 и B_1 , B_4 и B_2 , B_1 и B_4 и др. Чтобы рассеять это недоумение, отметим, что решение размерных цепей B , B и A не совмещено во времени и что каждая из частных задач решается в своих условиях. Например, стойка индикатора имеет две установки, сопровождаемые своими отклонениями на звеньях B_3 и B_1 ; звенья B_4 и B_2 учитывают точность установки цилиндра и эталона; A_2 — это аттестационный размер эталона, а B_3 — его действительный размер в момент настройки системы измерения.

Следует обратить внимание и на то, что допуск $T_{B_{\Delta}}$ должен быть выделен из допуска T_{B_2} , но не равен ему. В процессе собственно измерения на звене B_2 будет проявляться погрешность настройки системы измерения, но помимо этого могут возникнуть под действием сил, температур отклонения динамического характера. Поэтому для ограничения погрешности настройки можно выделить только часть допуска T_{B_2} .

В производственных условиях методы и средства измерения выбирают таким образом, чтобы погрешность измерения не превышала $1/10$ — $1/6$ допуска на измеряемый параметр машины или детали.

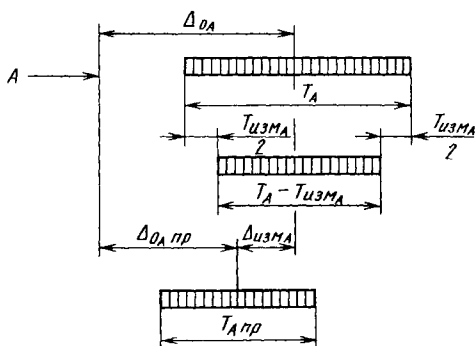


Рис. 5.45. Установление производственного допуска $T_{\text{Апр}}$

При соблюдении этого условия погрешностью измерения пренебрегают. В противном случае погрешность измерения должна быть учтена путем установления так называемого производственного допуска, в пределах которого допустимы отклонения при изготовлении изделия.

Производственное поле допуска $T_{\text{Апр}}$ (рис. 5.45) определяют как разность между полями допусков, ограничивающих отклонения параметра A и погрешность его измерения:

$$T_{\text{Апр}} = T_A - T_{\text{изм.А}}$$

Координату середины производственного поля допуска находят с учетом систематической погрешности, присущей избранному методу и средству измерения. Если систематическая погрешность измерения направлена в сторону увеличения познаваемого значения измеряемого параметра, то ее учитывают со знаком "—", в противоположном случае — со знаком "+".

$$\Delta_{0_{\text{Апр}}} = \Delta_{0_A} \mp \Delta_{\text{изм.А}}$$

Все изложенное в отношении погрешности измерения относится к измерению любых величин.

5.6. ВЫБОР ИЛИ РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАШИНЫ

Осуществляемые в процессе сборки контрольные операции имеют цель установить соответствие формы, относительного положения и движения исполнительных поверхностей сборочной единицы и машины в целом заданным нормам и техническим требованиям. Основные виды отклонений, подлежащие измерению, установлены ГОСТ 24642—81.

Методы и средства измерения выбирают, стремясь познать значение контролируемого параметра с наивысшей точностью. Степень приближения измеренного значения к действительному значению параметра, прежде всего, зависит от понимания причин возникновения погрешности измерения и умения устранить или учесть влияние побочных явлений. Так, при измерении радиального биения поверхности вращающейся детали с помощью индикатора его показания охватят и отклонения формы поверхности в поперечном сечении, например ее овальность. Для того чтобы судить о радиальном биении поверхности, необходимо иметь представление о значении и направлении овальности и учесть ее как при выборе начала отсчета, так и в полученных результатах измерения. Поскольку контролируемая поверхность в общем случае будет не только смещена, но и повернута относительно оси вращения, то выявленное значение радиального биения будет действительно только для сечения, в котором производят измерение.

Ясное представление происхождения отклонения, фиксируемого средством измерения, является неременным условием получения достоверного значения измеряемой величины.

Измерение некоторых параметров требует материализации геометрических представлений. Такие понятия, как, например, ось поверхности, ось вращения детали и т.п., являются геометрическими образами в сознании человека, в природе же они не существуют. Для того чтобы измерить, например, расстояние между осями двух отверстий в корпусной детали, оси необходимо каким-то образом материализовать. Сделать это можно с помощью цилиндрических оправок, плотно посаженных в отверстия (рис. 5.46). Измерять при этом надо расстояние A_3 между образующими оправок, а искомую величину

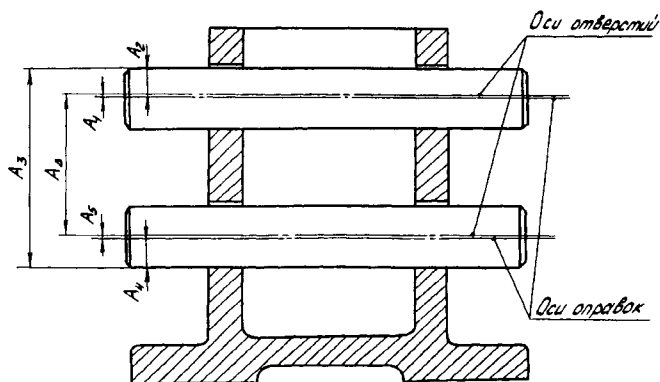


Рис. 5.46. Определение расстояния между осями отверстий в корпусной детали

познавать как замыкающее звено A_{Δ} размерной цепи, составляющими звеньями которой будут звенья A_1 и A_5 — несовпадения осей отверстий с осями оправок из-за погрешностей их установки, A_2 и A_4 — радиусы оправок, аттестованные в результате измерений, сопровождаемых погрешностями измерения, A_3 — измеряемый размер. Многозвенность размерной цепи A не позволит, видимо, познать значение A_{Δ} с высокой точностью. Поэтому данный метод определения значения A_{Δ} может быть использован при сравнительно невысоких требованиях к точности измерения.

Технические измерения в машиностроении ведут методами, разработанными метрологами, с помощью механических, индуктивных, пневматических, оптических и других видов измерительных средств. Для обеспечения единства измерений введены правила проведения измерения различных величин универсальными измерительными инструментами и приборами. В качестве примера ниже приведены методы измерения некоторых величин, выполняемых индикаторами часового типа при контроле точности машин.

Радиальное биение цилиндрической поверхности вращающейся детали проверяют по схеме, приведенной на рис. 5.47, а. О радиальном биении для данного сечения

детали судят по разности показаний индикатора при повороте детали на 180° . Проверку производят в одной координатной плоскости. За начало отсчета обычно принимают одно из крайних показаний индикатора, найденное при повороте детали на 360° . Овальность и огранка контролируемой поверхности влияют на точность определения радиального биения, поэтому должны быть установлены ранее и учтены, если их значениями нельзя пренебречь.

Осевое перемещение вращающейся детали определяют как разность крайних показаний индикатора, расположенного точно по оси вращения детали (рис. 5.47, б).

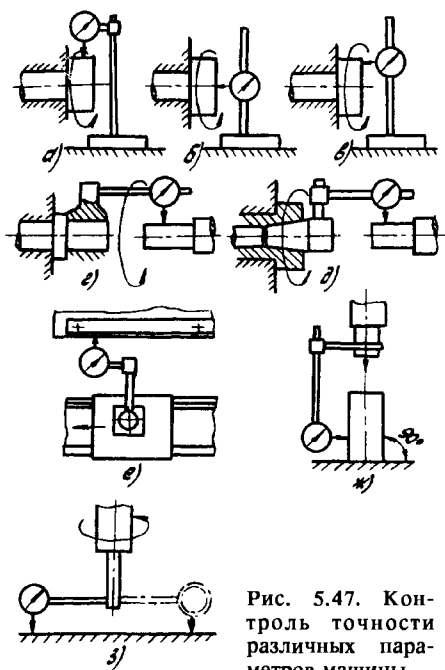


Рис. 5.47. Контроль точности различных параметров машины

Если деталь полая, то осевое отверстие при контроле заглушают.

Торцовое биеие вращающейся детали определяют по схеме, приведенной на рис. 5.47, в. Индикатор, установленный по торцу детали, на заданном радиусе, показывает сумму осевого перемещения, неплоскостности торца и его неперпендикулярности к оси вращения детали; при этом деталь делает полный оборот.

Соосность цилиндрических поверхностей двух неподвижных деталей проверяют индикатором, установленным на одной из них (рис. 5.47, з) с помощью муфты; вращая муфту, обкатывают индикатором вторую деталь. О несоосности судят по крайним показаниям индикатора при нахождении его в двух противоположных положениях в одной из плоскостей измерения. Так как в общем случае оси контролируемых поверхностей деталей скрещиваются в пространстве, то полученный результат измерения следует считать действительным только для контролируемого сечения. На точность определения несоосности влияют погрешности формы поверхности второй детали, а также погрешность базирования муфты на первой детали.

Совпадение оси вращения одной детали с осью цилиндрической поверхности другой детали может быть проверено с помощью индикатора, установленного на вращающейся детали (рис. 5.47, д). Вращая первую деталь, обкатывают индикатором неподвижную деталь. О несоосности судят по наибольшей разности показаний индикатора при его нахождении в противоположных положениях в плоскости измерения. Результаты измерения действительны только для контролируемого сечения. Овальность и огранка поверхности неподвижной детали отражаются на результатах измерения.

Прямолинейность перемещения узла в заданном направлении проверяют с помощью индикатора и эталона, в качестве которого может быть использована линейка, угольник или оправка. Индикатор закрепляют на перемещаемом узле. Эталон предварительно выставляют по показаниям индикатора в крайних положениях узла (рис. 5.47, е).

Перпендикулярность (параллельность) перемещения узла к заданному направлению проверяют индикатором по эталону, предварительно выставленному в заданном направлении (рис. 5.47, ж).

Перпендикулярность оси вращения детали к плоскости (стола) может быть проверена индикатором, соединенным с вращающейся деталью приспособлением, обеспечивающим необходимый вылет индикатора (рис. 5.47, з). Деталь вместе с индикатором поворачивают на 180° . В каждой из координатных плоскостей о неперпендикулярности на диаметре вращения индикатора судят по разности его показаний. Точность определения неперпендикулярности зависит от осевого перемещения вращающейся детали и неплоскостности контролируемой поверхности.

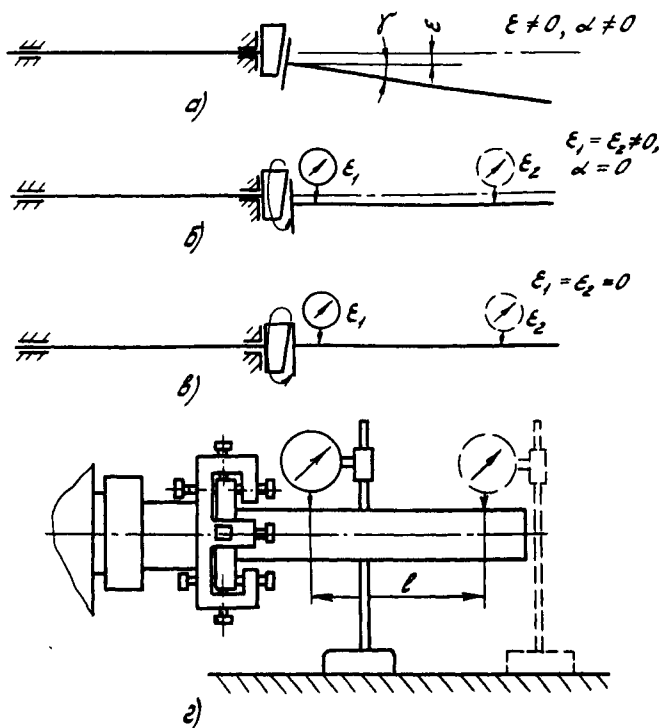


Рис. 5.48. Контроль параллельности оси вращения шпинделя станка направляющим станины

Приведенные методы измерения параметров можно считать простейшими, поскольку искомые значения определяют непосредственно в процессе измерения. Однако при оценке точности машины нередко приходится разрабатывать и более сложные методы, реализация которых требует специальных средств. В основе таких методов обычно лежат простейшие методы, дающие возможность поэтапно оценить и устранить влияние на точность измерения побочных явлений. Пояснить такие случаи можно на примере контроля параллельности оси вращения шпинделя токарного станка направляющим станины.

Как указывалось выше, ось вращения шпинделя может быть материализована с помощью цилиндрической оправки. В общем случае при соединении оправки со шпинделем ее ось будет смещена на величину ϵ и повернута на угол α относительно оси вращения

шпинделя (рис. 5.48, а). Для того чтобы оправка при определении параллельности оси вращения шпинделя направляющим станины могла служить эталоном, ее ось необходимо совместить с осью вращения шпинделя. Для этого, прежде всего, необходимо избавиться от поворота оправки на угол α . Это можно сделать, поворачивая оправку в двух координатных плоскостях и добиваясь равенства ее радиального биения ε_1 и ε_2 в двух выбранных сечениях (рис. 5.48, б). Затем следует устранить смещение ε оправки, перемещая ее. Показателем совмещения оси оправки с осью вращения шпинделя будет отсутствие ее радиального биения в двух сечениях, т.е. $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0$ (рис. 5.48, в).

Отклонение от параллельности оси вращения шпинделя относительно направляющих станины может быть определено как разность показаний индикатора, отнесенная к расстоянию l между сечениями, в которых снимали показания индикатора при неподвижной оправке (рис. 5.48, г). Этот метод измерения может быть осуществлен при наличии специальной оправки. Конструкция оправки должна допускать ее смещение и поворот в нужных направлениях при совмещении оси оправки с осью вращения шпинделя.

Контрольные вопросы

1. Как выявить и рассчитать технологические размерные цепи, с помощью которых в процессе сборки машины достигается ее точность?
2. Каковы два представления геометрического образца машины и какие следствия вытекают из отказа от идеализации геометрической формы поверхности деталей?
3. С помощью каких величин можно характеризовать относительное положение поверхностей реальной детали?
4. Какие свойства приобретают характеристики относительного положения поверхностей реальной детали в трех типах задач?
5. В чем и как проявляется количественная связь отклонений формы, относительного поворота и расстояния поверхностей детали?
6. В чем заключаются подходы к расчету допусков и оценке точности деталей с учетом количественной связи отклонений трех видов?
7. Как в процессе сборки изделий уменьшается проявление отклонений формы относительного поворота и расстояния поверхностей деталей?
8. Каковы пути уменьшения влияния на качество собираемых изделий деформаций деталей?
9. Что представляют собой погрешности измерения и как они возникают?
10. Как выбрать или разработать метод и средства оценки точности геометрических показателей машины?

ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА И РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

Для того чтобы получить качественную деталь необходимо при построении и в ходе технологического процесса ее изготовления решить следующие две важные и сложные задачи.

1. Обеспечить требуемые свойства материала детали.
2. Обеспечить необходимую точность размеров, расстояний, относительных поворотов и формы поверхностей детали.

Решения этих задач пересекаются в осуществляемом технологическом процессе. Однако сложность их совместного рассмотрения вынуждает рассмотреть каждую в отдельности и в последовательности, указанной выше.

6.1. ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ДЕТАЛИ

Детали машин изготавливают из чугунов, сталей, сплавов на основе меди, алюминия, магния и титана, полимеров, стекла, гранита и других материалов. Материал детали выбирает конструктор, исходя из ее служебного назначения. При выборе материала устанавливают соответствие его механических, физических и химических свойств функциям, которые надлежит исполнять детали, и условиям ее работы. Материал выбирают также с учетом его технологических свойств.

К механическим свойствам материала относят временное сопротивление при растяжении и сжатии, предел текучести, твердость, относительное удлинение, структуру остаточных напряжений и др.

К физическим свойствам относят удельный вес, плотность, модуль объемного сжатия, модуль Юнга, температуру плавления и кристаллизации, теплопроводность, коэффициент линейного расширения, электрическое сопротивление и пр.

Химические свойства материала прежде всего определяются его коррозионной стойкостью. Технологические свойства материала составляют обрабатываемость резанием и давлением, свариваемость, упрочняемость и т.д.

Требования к свойствам материала детали должны быть заданы системой номинальных значений показателей свойств и допусками, ограничивающими отклонения показателей от их номинальных значений.

На машиностроительных предприятиях детали машин изготавливают из полуфабрикатов. Полуфабрикатами обычно являются прокат, заготовки, полученные отрезкой из проката, литьем, методами пластического деформирования, сваркой, металлические порошки, полимерные материалы и др. Материал любого полуфабриката обладает совокупностью всех свойств, являющихся исходными в технологическом процессе изготовления детали.

Поскольку наиболее распространенным видом полуфабрикатов являются заготовки из металла, то в дальнейшем изложении будем придерживаться получения детали из металлической заготовки. Это не будет противоречить общему подходу к обеспечению требуемых свойств материала детали.

В процессе изготовления детали материал заготовки подвергается силовым, тепловым, химическим и другим видам воздействий. Вследствие этого на каждом из этапов технологического процесса могут изменяться химический состав, структура, зернистость материала заготовки, а следовательно, и его механические, физические, химические свойства и состояние поверхностных слоев. Переход от свойств материала заготовки к свойствам материала готовой детали может быть представлен схемой, приведенной на рис. 6.1.

Анализируя схему, можно прийти к выводам о том, что для достижения требуемых свойств материала детали необходимо следующее.

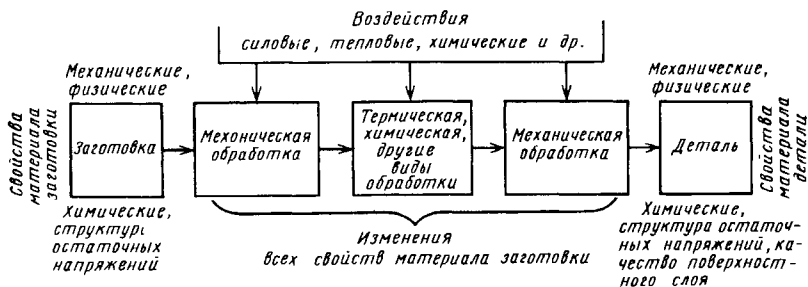


Рис. 6.1. Переход от свойств материала заготовки к свойствам материала детали

1. Строить технологический процесс изготовления детали с таким расчетом, чтобы все воздействия на заготовку в конечном счете обеспечивали бы получение необходимых свойств материала детали, наряду с точностью ее геометрических параметров.

2. Исходя из требуемых свойств материала детали и с учетом изменений этих свойств в технологическом процессе ее изготовления, предъявить комплекс требований к материалу заготовки.

3. Обеспечить соблюдение требований к материалу заготовки в технологических процессах ее изготовления.

Для того чтобы осознанно выбирать технологический процесс получения заготовки, предъявлять требования к свойствам ее материала, а также обеспечивать необходимое качество материала детали в процессе ее изготовления, технолог должен иметь представление о том, как формируются свойства материала в процессе получения заготовок и в процессе изготовления детали.

Свойства материала заготовок

Способ изготовления заготовки выбирают с учетом ее последующей обработки на основе технико-экономического анализа. На выбор способа влияют марка материала, размеры и конфигурация детали, требуемая точность размеров и качество поверхностей заготовки, объем выпуска, тип производства, характер последующей механической и других видов обработки заготовки.

В одних случаях марка материала и конструкция детали непосредственно указывают вид заготовки. Например, заготовкой корпусной детали из чугуна может быть только отливка. В других случаях возможен выбор вида заготовки из нескольких вариантов. Так, заготовка стального шпинделя станка может быть получена из проката, методами пластического деформирования или литьем.

Многовариантны и способы получения заготовок в границах данного вида. Например, в пределах одной и той же группы сложности и массы отливки могут быть изготовлены обычными способами литья в разовые сырые или сухие песчаные формы при ручном или машинном способе формовки; специальными способами литья: в металлические формы (кокили), под давлением, в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, центробежным литьем и др.

Разные процессы получения заготовок приводят к разным свойствам их материала. Структура и размер зерен материала отливки зависит от многих факторов: количества и свойства примесей в чистом металле или легирующих элементов в сплаве, температуры разлива, скорости охлаждения при кристаллизации, а также конфигурации, температуры, теплопроводности, состояния внутренних поверхностей литейной формы.

От структуры и зернистости материала отливки зависят его механические свойства. Влияние примесей и легирующих элементов на свойства материала заготовки может быть показано на примере стального литья.

С повышением содержания углерода в стальном литье повышается временное сопротивление при растяжении, предел текучести и твердость. Однако при содержании $C > 0,40 \dots 0,45$ % предел текучести не увеличивается и резко падает пластичность стали. В отливках с большим содержанием углерода большой объем усадочных раковин.

Низкоуглеродистая сталь, легированная кремнием, отличается большой пластичностью и вязкостью. Высокоуглеродистая кремнистая сталь характеризуется повышенным значением временного сопротивления при растяжении, падением пластичности и высокой износостойкостью. Но стали с повышенным содержанием кремния склонны к образованию в отливках термических напряжений, трещин, газовых раковин и неметаллических включений.

Фосфор снижает пластичность, вызывает хладноломкость стали, способствует образованию ликваций в толстых медленно затвердевающих отливках.

Сера является наиболее вредной примесью, ухудшающей механические и физические свойства отливок. Повышенное содержание серы в стали тем опаснее, чем сложнее форма отливки и чем большее сопротивление оказывает литейная форма усадке металла.

Получению мелкозернистой структуры, повышению механических свойств отливок способствует легирование стали никелем, хромом, молибденом, ванадием.

Свойства материала литой заготовки во многом зависят от ее конструкции. Конструкция отливки должна создавать возможность одновременного или последовательно направленного затвердевания ее частей. В первом случае желательна равномерность сечений стенок, а во втором — постепенное увеличение массивности стенок в предполагаемом направлении затвердевания металла. Неравномерное охлаждение различных частей отливки, сопротивление формы и стержней свободной усадке металла могут привести к образованию трещин, усадочных раковин и остаточных напряжений. В тонких местах стенок чугуновых отливок при быстром охлаждении происходит отбел поверхностей.

Пластическое деформирование металла также сопровождается изменением его физико-механических свойств. При начальной горячей обработке давлением (прокатка, ковка) литых слитков металла происходит деформирование его дендритной структуры, зерна металла вытягиваются и его механические свойства в продольном и поперечном направлениях становятся различными. Прочность заготовки

снижается. Из-за неоднородности деформаций в объеме металла различны изменения плотности, что служит причиной появления остаточных напряжений.

При пластическом деформировании большое значение имеет температура нагрева металла. Нарушение теплового режима может привести к образованию трещин, крупнозернистой дефектной структуре (перегретая сталь) и к неисправимому браку — пережогу (оплавлению и окислению металла по границам зерен).

Если деформирование осуществляется без предварительного нагрева, в металле возникают остаточные напряжения, отдельные кристаллы повреждаются и частично разрушаются. В результате этих явлений металл приобретает наклеп. Наклеп затрудняет пластическое деформирование и возрастает с увеличением степени деформации. Достигнув определенной стадии наклепа, металл перестает пластически деформироваться и разрушается.

Для технологического процесса изготовления детали из заготовки большое значение имеют технологические свойства ее материала, в частности обрабатываемость резанием.

Обрабатываемость резанием, т.е. способность поддаваться обработке резанием, зависит от химического состава материала заготовки, его структуры, зернистости, а также от свойств материала режущего инструмента.

К показателям обрабатываемости резанием относятся следующие: сила резания (момент вращения) по сравнению с эталонным материалом (обычно сталь 45), измеренная при одинаковых режимах обработки;

эффективная мощность, затрачиваемая на резание, по сравнению с эталонным материалом при одинаковых режимах обработки;

склонность к наростообразованию на инструменте при одинаковых условиях обработки;

интенсивность изнашивания инструмента;

качество поверхностей (шероховатость, остаточные напряжения в поверхностном слое), обработанных резанием при одинаковых условиях, и др.

Значения показателей обрабатываемости конструкционного металла данного химического состава и структурного состояния определяются твердостью, пределом прочности и относительным удлинением, коэффициентом трения в паре с инструментальным материалом, свойством изнашивать лезвия инструментов, теплопроводностью и т.д.

Для уменьшения недостатков структуры материала в литых заготовках (особенно в стальном литье), а также в кованных и штампованных заготовках (крупнозернистого строения в результате пере-

грева и рано законченнойковки, наклепа, остаточных напряжений) заготовки подвергают термической обработке (отжигу и нормализации). В результате термообработки улучшаются механические и технологические свойства материала заготовок.

Даже поверхностное изложение явлений, сопутствующих процессам получения литых, кованных, штампованных и сварных заготовок, показывает сложность условий обеспечения требуемого качества материала. По своей природе формирование значения любого показателя свойств материала заготовки является случайным процессом. Поэтому неизбежны отклонения показателей от своих номинальных значений, что требует ограничения этих отклонений допусками. Однако назначение допусков возможно лишь с учетом тех изменений, которые свойства материала претерпевают в процессе изготовления детали (механической, термической, химической и др. видов обработки заготовки).

Воздействия механической обработки на свойства материала заготовок

Механическую обработку заготовки можно вести резанием и пластическим деформированием. В обоих случаях формирование поверхностных слоев обрабатываемых поверхностей проходит в сложных условиях, определяемых действием сил, теплоты и химических явлений.

При обработке резанием снятие с заготовки необходимого слоя материала требует приложения через режущий инструмент силы, способной создать в срезаемом слое напряжения, превышающие прочность материала. Под воздействием этой силы в срезаемом слое и поверхностном слое материала заготовки возникают упругие и пластические деформации. При прекращении воздействия режущего инструмента упругие деформации в поверхностном слое устраняются, и поверхностный слой материала частично восстанавливается. Пластические же деформации приводят к качественным изменениям поверхностного слоя.

Пластические деформации являются следствием изменений структуры материала в субмикроскопической, микроскопической и макроскопической областях. Под воздействием силы резания возникают искажения кристаллических решеток со смещением атомов с положений устойчивого равновесия в неустойчивое, происходят дробление, поворот и вытягивание поликристаллов, развиваются напряжения в объемах кристаллических зерен и микронапряжения.

Пластическое деформирование материала сопровождается его упрочнением, называемым наклепом, и изменением его механи-

ческих, физических и химических свойств. В частности, наклеп уменьшает плотность материала и увеличивает его объем, повышает твердость, снижает электропроводность, теплопроводность, магнитную проницаемость и коррозионную стойкость, повышает электрическое сопротивление и диффузионные способности.

Пластически деформированный материал находится в структурно неустойчивом состоянии и в нем самопроизвольно возникают релаксационные явления разупрочнения (отдыха) и восстановления его первоначальных свойств. Скорость разупрочнения зависит от степени упрочнения материала и уровня его нагрева. Разупрочнение протекает и при комнатной температуре, но медленно. При обработке резанием работа упругих и пластических деформаций материала, а также работа трения инструмента по передней и задней поверхностям обращается в теплоту, и поверхностные слои заготовки нагреваются до значительных температур. Это ускоряет процесс разупрочнения.

Поскольку пластическое деформирование материала сопровождается выделением теплоты, то в процессе резания одновременно совмещаются два противоположных по результатам процесса — упрочнения (наклепа) и разупрочнения (отдыха). Конечное состояние материала поверхностного слоя определяется соотношением скоростей протекания каждого из этих процессов.

Так, при точении степень наклепа увеличивается с ростом сил резания, чему способствуют увеличение глубины резания и подачи, переход от положительных передних углов резцов к отрицательным, большие радиусы закругления и затупление резцов. Но в то же время изменение режимов обработки, приводящее к увеличению количества теплоты в зоне резания, создает условия для отдыха материала и снятия наклепа с поверхностного слоя. На рис. 6.2 показано влияние подачи S и радиуса r закругления вершины резца на микротвердость H обточенной поверхности, а на рис. 6.3 — влияние переднего угла γ резца на микротвердость H и глубину наклепа h .

Общие закономерности образования наклепа характерны для точения, фрезерования, шлифования и других механических способов обработки, хотя каждый способ имеет и свои, присущие ему особенности образования наклепа. Например, при встречном фрезеровании наклеп оказывается большим, чем при попутном, увеличение продолжительности процесса выхаживания при шлифовании приводит к возрастанию наклепа. Увеличением наклепа сопровождается обработка деталей хонингованием, суперфинишированием, полированием, доводкой свободным абразивом.

Ориентировочное представление о степени и глубине наклепа при разных способах обработки можно получить из табл. 6.1.

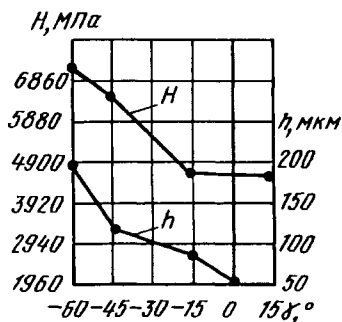
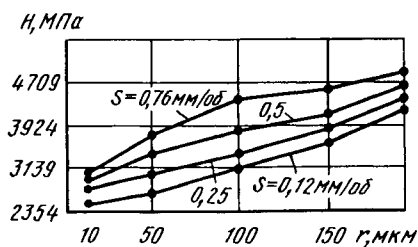


Рис. 6.2. Влияние подачи S и радиуса r закругления вершины резца на микротвердость H обточенной поверхности

Рис. 6.3. Влияние переднего угла γ резца на микротвердость H и глубину наклепа h

6.1. Степень и глубина наклепа при разных способах обработки (по данным Э.В. Рыжова)

Вид обработки	Степень наклепа*, %	Глубина наклепа, мкм
Точение:		
обычное и скоростное	120—150	30—50
тонкое	140—180	20—60
Фрезерование:		
торцовое	140—160	40—100
цилиндрическое	120—140	40—80
Сверление и зенкерование	160—170	160—200
Развертывание	—	150—200
Протягивание	150—200	20—75
Зубофрезерование и зубодолбление	160—200	120—150
Шевингование зубьев	—	До 100
Шлифование:		
круглое деталей из сталей:		
незакаленной углеродистой	140—160	30—60
низкоуглеродистой закаленной	125—130	20—40
плоское	150	16—35

* Степень наклепа есть отношение твердости материала заготовки на поверхности к твердости материала в сердцевине.

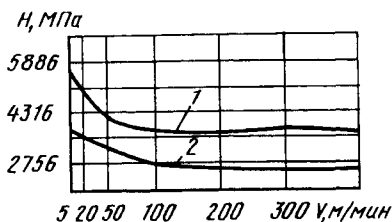


Рис. 6.4. Влияние скорости резания при точении на упрочнение заготовок из стали 30ХГС (1) и стали 20 (2)

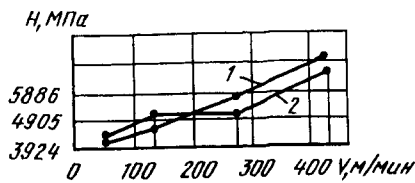


Рис. 6.5. Влияние скорости резания при точении на упрочнение заготовки из стали У10 (1) и стали 25ХНВА (2)

Интенсивность и глубина распространения наклепа зависят также от свойств материала заготовки во взаимосвязи со скоростью резания. При обработке металлов, не претерпевающих структурных изменений, увеличение скорости резания приводит к уменьшению продолжительности воздействия на металл деформирующих сил и к большему выделению теплоты в зоне резания, ускоряющей отдых металла. На рис. 6.4 приведены зависимости твердости поверхностного слоя сталей 30ХГС (1) и 20 (2) от увеличения скорости резания при точении.

При обработке заготовок из сталей, претерпевающих структурные изменения, например, из сталей У10 и 25ХНВА, увеличение скорости резания может вызвать поверхностную закалку. Повышение твердости поверхностного слоя будет вызвано уже не наклепом, а закалкой (рис. 6.5).

Наклеп снижает коррозионную стойкость поверхностного слоя. В результате наклепа существенно могут быть снижены магнитные свойства магнитно-мягких материалов типа пермаллой, вследствие чего наклеп недопустим при механической обработке таких материалов.

В процессе механической обработки в поверхностных слоях заготовки возникают остаточные напряжения. Их причинами являются различия условий, в которых во время обработки и по завершении ее оказываются верхние и нижележащие слои материала. Под воздействием режущего инструмента в поверхностном слое металла происходят пластическое деформирование, изменения формы кристаллических зерен, нагрев поверхностного слоя до высоких температур, структурные превращения. Эти явления могут сопровождаться изменениями в поверхностном слое плотности объема материала, перестроением кристаллических зерен, тепловыми деформациями. Изменениям состояния поверхностного слоя препятствуют нижележащие слои материала. В сложном взаимодействии явлений в повер-

хностных и нижележащих слоях материала возникают остаточные напряжения противоположных знаков (растяжения и сжатия).

Любая из указанных выше причин может преобладать в процессе обработки над другими. Поэтому, в зависимости от интенсивности проявления разных факторов поверхностный слой может быть наделен напряжениями как растяжения, так и сжатия. Соответственно противоположными им будут остаточные напряжения в нижележащем слое.

Большое значение в формировании остаточных напряжений имеют химический состав материала и его склонность к структурным изменениям, пластичность, твердость, упругость, теплопроводность и другие механические и физические свойства. Знак и глубина остаточных напряжений зависят также от характера воздействия инструмента на материал и условий, в которых осуществляется процесс резания.

Например, при точении на формирование остаточных напряжений влияют скорость резания, подача, геометрия режущего инструмента, эффективность действия охлаждающей жидкости. Изменение скорости резания обращается в изменение теплового воздействия на материал. При обработке заготовок из пластичных материалов большой нагрев приводит к увеличению растягивающих напряжений в поверхностном слое (рис. 6.6, а). И в то же время при обработке заготовок из пластичных материалов, подверженных закалке, увеличение теплоты в зоне резания может вызвать закалку поверхностного слоя, что будет снижать напряжения растяжения или даже приведет к появлению напряжений сжатия (рис. 6.6, б). При точении заготовок из закаленных материалов увеличение степени нагрева поверхностного слоя с повышением скорости резания может привести к отпуску, уменьшению объема материала поверхностного слоя и снижению напряжений сжатия в нем (рис. 6.6, в).

Увеличение подачи сопровождается ростом пластической деформации поверхностного слоя и ростом остаточных напряжений растяже-

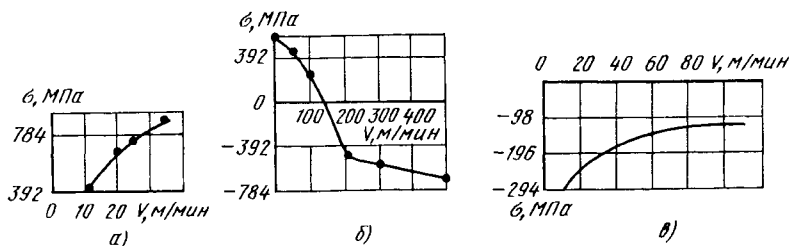


Рис. 6.6. Влияние скорости резания при точении на остаточные напряжения в пластичных (а), пластичных, воспринимающих закалку (б) и закаленных (в) материалах

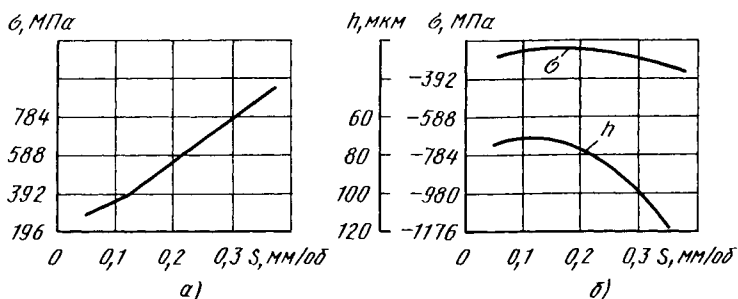


Рис. 6.7. Влияние подачи на формирование остаточных напряжений в стали: а — ХН70ВМЮТ; б — ВТ6; σ — временное сопротивление; h — глубина проникновения

ния при обработке заготовок из пластичных материалов, например, из стали ХН70ВМЮТ (рис. 6.7, а). При обработке же мало пластичных материалов рост подачи приводит к остаточным напряжениям сжатия, как в случае титанового сплава ВТ6 (рис. 6.7, б).

Переход к обработке инструментом с отрицательным передним углом, затупление режущего инструмента сопровождаются усилением деформирования поверхностного слоя, возникновением остаточных напряжений сжатия и проникновением их на большую глубину в материал.

В процессе шлифования заготовок температура в зоне резания может приближаться к температуре плавления материала. Поэтому главной причиной формирования остаточных напряжений является высокий уровень нагрева поверхностного слоя заготовки. Ухудшение охлаждения, меньшая теплопроводность материала, увеличение частоты вращения круга, его затупление, засаливание, уменьшение скорости вращения заготовки и др. влекут за собой повышение температуры в зоне резания и рост остаточных напряжений растяжения или уменьшение напряжений сжатия.

В доводочных процессах главной причиной возникновения остаточных напряжений являются пластическое деформирование и наклеп материала поверхностного слоя. Обычно в поверхностном слое возникают остаточные напряжения сжатия. Соизмеримые по своему значению с напряжениями, возникающими при других видах обработки, остаточные напряжения при доводке заготовок резко возрастают при переходе от режима микрорезания к режиму полирования.

Прямое воздействие на свойства материала поверхностного слоя оказывает теплота, возникающая в зоне резания. Несмотря на то, что количество теплоты, образующейся в процессе резания и идущей на

нагрев заготовки, составляет 4—5% от общей теплоты, температура в поверхностном слое может достигать 1000 °С. При разогреве ниже критической точки A_{c1} создаются условия для различной степени отпуска материала. Если же температура выше критической точки A_{c3} , возможна закалка поверхностного слоя. Структурные изменения материала поверхностного слоя под воздействием теплоты могут быть различными при разных способах обработки и приводить к дефектам. В частности, разновидностью такого рода дефектов являются прижоги шлифумой, шероховатости и мелкие трещины, снижающие долговечность деталей машин.

Температура в зоне резания влияет и на химический состав материала поверхностного слоя. Если температура нагрева поверхностного слоя превысит температуру плавления какого-либо компонента в сплаве металла, то это может привести к выгоранию легирующего компонента. Нагрев поверхностного слоя интенсифицирует окислительные процессы, происходящие в нем, и приводит к изменениям его химического состава. Интенсивности протекания химических явлений способствует наклеп поверхностного слоя, уменьшающий плотность материала и повышающий его диффузионные способности.

Влияние смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). В зависимости от состава действие СОЖ может быть различным: охлаждающим, смазывающим и повышающим эффективность процесса обработки.

Основное назначение СОЖ — охлаждение в процессе обработки режущего инструмента и заготовки (прежде всего ее поверхностного слоя). Снижение температуры нагрева инструмента и заготовки может осуществляться путем непосредственного теплообмена между режущим инструментом, заготовкой и СОЖ и через уменьшение сил трения инструмента по задней и передней поверхностям о заготовку и сходящую стружку.

Охлаждающее действие СОЖ на нагретый поверхностный слой заготовки подобно процессу закалки, если нагрев будет выше критической точки A_{c3} , или отпуска, если нагрев оказался ниже точки A_{c1} . Соответственно этому будет изменяться структура и зернистость поверхностного слоя заготовки, приобретенные им в процессе наклепа. Формирование остаточных напряжений в поверхностном слое становится зависимым в основном от проявления теплового фактора.

В некоторые СОЖ добавляют поверхностно активные вещества, например олеиновую кислоту. Применение таких СОЖ приводит к изменениям химического состава поверхностного слоя заготовки.

Образование шероховатости поверхности. Одним из показателей качества поверхности детали является шероховатость, в значительной мере влияющая на эксплуатационные свойства детали.

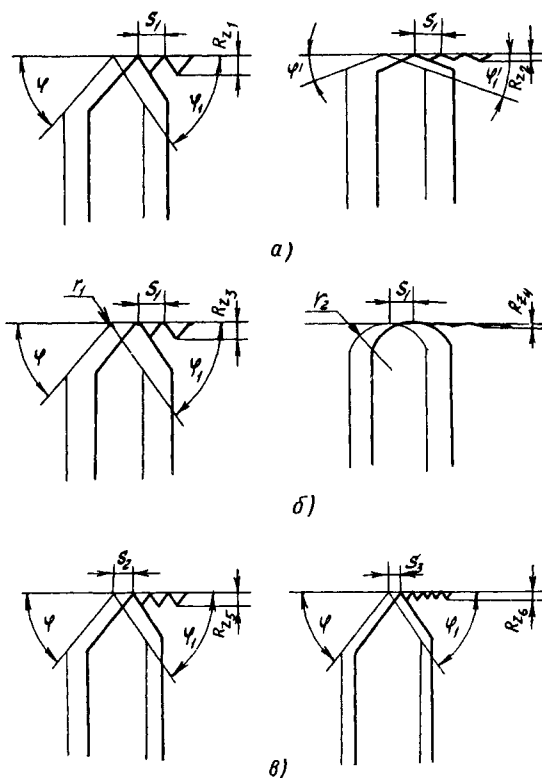


Рис. 6.8. Влияние на шероховатость поверхности при точении:

а — углов φ и φ_1 в плане; б — радиуса r закругления вершины реза; в — продольной подачи S на оборот заготовки

Образование микронеровностей при обработке резанием представляет собой сложный процесс, в котором проявляется совокупное действие геометрических, кинематических, физико-механических, химических явлений и особенности способа обработки.

К геометрическим и кинематическим причинам образования шероховатости следует отнести углы φ и φ_1 в плане, радиус r закругления вершины и подачу S инструмента. От значений этих параметров зависит форма, шаг и высота неровностей обработанной поверхности в направлении подачи инструмента. Это поперечная шероховатость (рис. 6.8). Затупление режущего инструмента, появление на режущих кромках зазубрин приводят к значительному увеличению поперечной шероховатости.

Шероховатость обработанной поверхности в направлении траектории относительного движения инструмента и заготовки — продольная шероховатость. Ее возникновение связано главным образом с пласти-

ческим деформированием и разрушением материала режущим лезвием инструмента, оказывающим также влияние и на формирование поперечной шероховатости.

Скорость резания влияет на шероховатость главным образом через образование нароста на режущей кромке инструмента. При скорости резания 20—40 м/мин создаются условия для приваривания частиц удаляемого материала к передней и частично задней поверхностям инструмента. Образующийся нарост приобретает качества режущих элементов инструмента, изменяя его геометрию. По мере увеличения и разрушения нароста изменяется глубина резания, что приводит к снижению точности формы и выдерживаемых размеров обрабатываемых поверхностей. На поверхностях остаются местные уступы, трещины и прочие дефекты, повышающие их шероховатость. Характерная зависимость значения параметра шероховатости от скорости резания представлена на рис. 6.9. Для углеродистых сталей наименьшее наростообразование на инструменте наблюдается при скоростях резания $5 \text{ м/мин} \leq V \leq 70 \text{ м/мин}$.

На шероховатость поверхности влияют химический состав, зернистость и структура материала заготовки. Более вязкие и пластичные материалы (например, низкоуглеродистые стали), склонные к большим пластическим деформациям, имеют при обработке резанием грубые и шероховатые поверхности. Меньшие значения параметров шероховатости поверхностей стальных деталей достигаются при однородной мелкозернистой структуре материала. Такая структура у стали может быть получена в результате нормализации или отжига заготовки. С увеличением твердости материала значения параметров шероховатости обработанных поверхностей деталей уменьшаются. При обработке заготовок из хрупких материалов (например, чугуна) происходит вырывание отдельных частиц материала, что увеличивает значения параметров шероховатости.

Вибрации режущего инструмента, станка и заготовки являются дополнительными причинами увеличения значений параметров шероховатости обработанной поверхности. Вибрации технологической системы станка циклически изменяют относительное положение режущих кромок инструмента и заготовки. В связи с этим высота неровностей будет тем больше, чем будет большей амплитуда

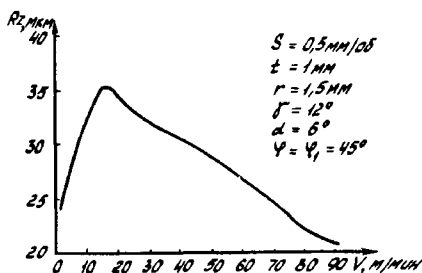


Рис. 6.9. Влияние скорости резания на значения параметра шероховатости обработанной поверхности при точении заготовки из стали 45

колебаний инструмента и заготовки. Вибрации вызываются неоднородным припуском на обработку, их уровень зависит от жесткости технологической системы станка, часто переменной по длине обрабатываемой заготовки. Поэтому значения параметров шероховатости обработанной поверхности могут быть больше, например, в средней части вала, установленного в центрах, и меньше в сечениях ближе к переднему центру, где жесткость технологической системы токарного станка оказывается большей. Вибрации ускоряют изнашивание режущего инструмента, что способствует образованию микронеровностей.

Применение смазочно-охлаждающих жидкостей снижает значения параметров шероховатости, предотвращая схватывание, уменьшая трение инструмента о заготовку, повышая его стойкость.

Обработка методами поверхностно-пластического деформирования (ППД). Методы ППД основаны на пластическом деформировании поверхностного слоя заготовки без снятия слоя материала и относятся к отделочным методам обработки, применяемым для повышения предела выносливости и износостойкости детали.

К методам ППД относят дорнование, выглаживание, чеканку, дробеструйную обработку, накатывание (раскатывание), обработку стальными щетками. Все методы ППД сводятся к силовому воздействию инструмента (дорнов, бойков, роликов, шариков, дроби и др.) на обрабатываемую поверхность, оказываемому либо путем давления, либо нанесением большого числа ударов.

При поверхностно-пластическом деформировании в поверхностном слое заготовки возникают сложные процессы, сопровождающиеся вытягиванием, дроблением, скалыванием зерен, выделением теплоты и изменением структуры материала. Следствием этих процессов являются смятие гребешков микронеровностей, образование в поверхностном слое остаточных сжимающих напряжений, повышение механических свойств материала. При ППД не остаются без изменения и глубинные слои материала. Однако их деформирование происходит без заметных изменений структуры, а напряженное состояние остается близким к исходному.

В результате обработки методами ППД изменяются значения параметров шероховатости, точность формы в продольном и поперечном сечениях, относительного положения и размеров поверхностей заготовки, механические, физические свойства материала.

Достижению любого показателя качества из групп геометрических параметров и параметров, отражающих свойства материала, должны соответствовать свои входные данные заготовки и свои режимы обработки. Доминирующим в достижении требуемого значения каждого показателя качества является закон распределения контак-

тных давлений. Поэтому достичь одновременно требуемых значений всех показателей весьма трудно. Часты случаи, когда улучшение качества по одним показателям идет в ущерб другим показателям. Это вынуждает подходить к выбору метода ППД, конструкции инструмента и режимов обработки, задавшись целью достижения требуемых значений одного показателя или сочетания нескольких при соблюдении удовлетворительных значений остальных.

При выборе режимов обработки необходимо учитывать механические свойства материала заготовки. При контактом давлении инструмента на поверхность заготовки, превышающем временное сопротивление материала, может произойти разрушение поверхностного слоя, его шелушение и отслаивание.

Воздействия на свойства материала заготовок термической и химико-термической обработок

Основной задачей термообработки заготовок являются изменения структуры и свойств их материала, направленные, в подавляющем большинстве случаев, на получение более мелкого зерна. Термической обработке подвергают слитки, отливки, поковки, сварные соединения, заготовки, получаемые из проката, а также детали, изготавливаемые из разнообразных металлов или сплавов. Но так как наиболее распространенными материалами в машиностроении являются стали, то суть и результаты различных способов термической обработки будет достаточным изложить на примере деталей из стали.

Основными видами термической обработки заготовок из сталей являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжиг заготовок из сталей проводят для снижения твердости, повышения пластичности и получения однородной мелкозернистой структуры. При отжиге полностью устраняются остаточные напряжения.

Отжиг проводят нагревом заготовок до температуры, превышающей A_{c3} на 30—50 °С, и после сквозного нагрева заготовки охлаждают. Скорость охлаждения при отжиге выбирают в зависимости от степени легированности стали. Для углеродистых сталей скорость охлаждения составляет 100—200 °С/ч, для легированных сталей — 20—70 °С/ч.

В результате отжига в фасонном литье устраняется грубозернистая структура, снижающая механические свойства заготовки. В катаных и кованных заготовках устраняются последствия различия условий деформирования и охлаждения их различных частей, структура материала приобретает однородность.

Нормализация отличается от отжига условиями охлаждения; после нагрева до температуры на 50—70 °С выше A_{c3} заготовку из стали охлаждают на воздухе. Нормализация сообщает стали более высокую прочность, чем отжиг, из-за большей скорости охлаждения.

Легированные конструкционные стали после нормализации приобретают высокую твердость, затрудняющую в дальнейшем обработку резанием, и нуждаются в последующем отпуске.

Структура нормализованных сталей из-за большей скорости охлаждения отличается от структуры отожженных сталей и в значительной мере зависит от размеров заготовок и сечений их отдельных частей.

Закалку заготовок из сталей ведут для получения структур наивысшей твердости. При последующем отпуске твердость может быть снижена, но повышена пластичность.

В зависимости от температуры нагрева закалку называют полной или неполной. При полной закалке заготовку нагревают выше критической температуры A_{c3} ; при неполной закалке температура нагрева находится в промежутке между A_{c1} и A_{c3} . Выбор вида закалки зависит от исходной структуры стали и механических свойств, приобретаемых в результате закалки.

Охлаждение при закалке осуществляется погружением закаливаемой заготовки в воду или масло, имеющих температуру 20—25 °С. Значительные напряжения разного рода, обусловленные неравномерностью упругих и пластических деформаций при нагревании и охлаждении заготовки, изменениями объемов при фазовых превращениях и др., могут привести к возникновению закалочных трещин и короблению заготовок. Уменьшению остаточных напряжений в материалах заготовок в значительной мере могут способствовать закалка в двух средах и ступенчатая закалка.

Заготовки из легированных сталей, для которых температура конца мартенситного превращения значительно ниже 20—25 °С, подвергают обработке холодом сразу же после закалки. Температура охлаждения этих заготовок может находиться в диапазоне от —40 до —196 °С.

При закалке невозможно добиться одинаковой скорости охлаждения поверхности и сердцевины заготовки, поэтому сталь способна закаляться лишь на определенную глубину. Эту способность называют прокаливаемостью, а степень прокаливаемости условились характеризовать глубиной материала, на которую распространяется не менее 50 % мартенсита. Прокаливаемость одной и той же марки стали в зависимости от изменений химического состава, температуры нагрева, размера и формы детали колеблется в широких пределах и отражается на механических свойствах детали.

В ряде случаев целесообразно упрочнять только поверхностные слои заготовки. Тогда до закалочной температуры нагревают только этот слой и быстро охлаждают его, оставляя сердцевину незакаленной. Нагрев осуществляют газопламенным способом, токами высокой частоты, низкотемпературной плазмой, лазером. Охлаждают водой следом за движущимся тепловым индуктором. Регулируя скорость движения индуктора, сообщаемую тепловую энергию и скорость охлаждения, изменяют глубину и свойства закаленного слоя.

Отпуск осуществляют при нагреве заготовки до температур, не превышающих уровень A_{c1} . Во время отпуска идут структурные изменения, обеспечивающие большую пластичность материала и снятие остаточных напряжений.

В зависимости от температуры нагрева различают три вида отпуска: низкий при 120—250 °С, средний при 350—450 °С и высокий при 500—680 °С. Каждому виду отпуска соответствует своя продолжительность выдержки. При низком отпуске продолжительность выдержки составляет 0,5—2 ч, хотя при нагреве до 100—120 °С выдержка может доходить и до 10—15 ч. Такой режим отпуска применяют, когда нежелательно падение твердости, достигнутой в результате закалки.

Продолжительность среднего и высокого отпуска обычно составляет от 1 до 2 ч для деталей небольшой массы и от 3 до 8 ч для деталей массой от 200 до 1000 кг.

Так как структура отпускаемой стали формируется в период выдержки при температуре отпуска, то скорость охлаждения не влияет на структурное состояние стали. Обычно охлаждают заготовки на воздухе.

Комплексную термическую обработку заготовок из конструкционных сталей, состоящую из полной закалки и высокого отпуска, называют *улучшением*.

Получение требуемых свойств материала заготовки, подвергаемой термообработке, зависит от химического состава стали, степени ее однородности и чистоты, наличия остаточных напряжений, формы и размеров заготовки. В меньшей мере свойства материала зависят от правильного выбора и соблюдения режимов термообработки: скорости и температуры нагрева заготовки, длительности выдержки, скорости охлаждения, охлаждающей среды. Всякое несоответствие режимов термообработки исходным свойствам материала заготовки может привести к возникновению различных дефектов.

Основные виды дефектов при термообработке приведены в табл. 6.2.

6.2. Дефекты материала заготовок, возникающие при термообработке

Дефект	Характеристика
Перегрев	Крупнозернистость, пониженные пластичность и особенно ударная вязкость
Пережог	Наличие по границам зерен участков, обогащенных углеродом, неокисленных пустот и пузырей, включений окислов железа. Низкие пластические свойства
Высокая твердость отожженной стали	Дефект структуры из-за повышенной скорости охлаждения при отжиге или низкой температуры выдержки
Окисление	Значительный слой окалины на поверхности заготовки
Коробление	Деформация заготовки после закалки
Недостаточная твердость после закалки	Дефект структуры из-за пониженной температуры нагрева, недостаточной выдержки или малой скорости охлаждения
Мягкие пятна	Наличие на поверхностях закаленной заготовки участков с пониженной твердостью
Повышенная твердость после отпуска	Дефект структуры из-за пониженной температуры нагрева или недостаточной выдержки
Пониженная твердость после отпуска	Дефект структуры из-за отпуска при температуре выше нормальной
Обезуглероживание	Выгорание углерода в поверхностных слоях. Пониженная твердость после закалки. Пониженный предел выносливости
Закалочные трещины	Неисправимый дефект заготовки
Деформирование при закалке	Изменение объема (размеров) заготовки после закалки
Эрозия	Уменьшение размеров заготовки или искажение профиля вследствие окисления и уноса металла с поверхности
Разъедание	Точечное или ручьеобразное поражение поверхности заготовки

Химико-термическую обработку применяют для поверхностного упрочнения и противодействия влиянию на поверхность внешних агрессивных сред. Наибольшее распространение в машиностроении получили процессы цементации, цианирования и азотирования. Значительно реже применяют алитирование, сульфидирование, хромирование, цинкование, борирование и др. Рассмотрение химико-термической обработки ограничим наиболее распространенными процессами.

Цементация представляет собой процесс обогащения поверхностного слоя низкоуглеродистой стали углеродом. Последующая термообработка сообщает поверхностному слою высокую твердость и вязкость сердцевине и повышает износостойкость и усталостную прочность детали.

Цементацию ведут на глубину 0,5—2,2 мм, реже на меньшую глубину. Однако при изготовлении крупных деталей глубина цементированного слоя может достигать до 6 мм. Твердость поверхностного слоя после закалки составляет HRC₃ 64—66. Цементацию осуществляют в твердом или газовом карбюризаторе при температуре 920—1050 °С. Длительность насыщения поверхностного слоя углеродом зависит от заданной глубины цементации и марки материала. Длительность выдержки может составлять от 2 до 24 ч.

В связи с длительной выдержкой заготовок при температуре науглероживания структура материала получается крупнозернистой. Для обеспечения не только высокой твердости поверхности, но и высокой прочности и ударной вязкости материала необходимо получить мелкое зерно как на поверхности, так и в сердцевине заготовки. Для этого заготовки после цементации подвергают двойной закалке и низкому отпуску, уменьшающему остаточные напряжения и сохраняющему твердость стали.

Обычно цементации подвергают не все, а лишь отдельные поверхности заготовки, которым должна быть придана высокая твердость, поэтому нецементируемые поверхности должны быть изолированы. Существуют различные способы защиты нецементируемых поверхностей. К их числу относят гальваническое омеднение, применение специальных обмазок, забивку отверстий медными пробками и надевание на наружные поверхности колпачков. Защитой от цементации может служить припуск, удаляемый с заготовки после цементации до закалки. В этом случае технологический процесс изготовления детали строят с таким расчетом, чтобы на первых его стадиях обработать поверхности заготовки, подлежащие цементации, с припуском под обработку после закалки. Остальные поверхности заготовки либо не обрабатывают, либо обрабатывают с припуском,

в 1,5—2 раза превышающим заданную глубину цементованного слоя. После цементации защитные и цементованные слои с этих поверхностей удаляют, и заготовку направляют на закалку, в результате которой высокую твердость приобретут только цементованные поверхности.

Цианирование преследует ту же цель, что и цементация, т.е. повышение поверхностной твердости, износостойкости и усталостной прочности. Процесс насыщения поверхностного слоя материала углеродом ведут при температуре 820—950 °С в жидких, газовых средах или твердых упаковках с применением цианистых соединений в качестве карбюризаторов.

Микроструктура цианированной стали в закаленном и отожженном состоянии аналогична микроструктуре цементованной стали. Отличие в содержании в поверхностном слое азота, придающего цианированной стали большую износостойкость.

Азотирование применяют для повышения поверхностной твердости, износостойкости и предела выносливости деталей машин, изготавливаемых из легированных сталей и чугуна. До азотирования детали подвергают закалке и высокому отпуску, проводят чистовую обработку заготовки, а после азотирования — отделочную обработку (тонкое шлифование, притирку, доводку и т.п.).

Диффузионное насыщение поверхностей заготовки азотом ведут при температуре 500—600 °С в муфелях или контейнерах, через которые пропускают аммиак. Так как азотированию обычно подвергают лишь отдельные поверхности изготавливаемой детали, то ее другие поверхности требуют защиты. Наиболее распространенным средством защиты является гальваническое лужение.

Азотирование — это более длительный процесс, чем цементация, требующий 50—60 ч выдержки. Толщина азотированного слоя обычно не превышает 0,5 мм. В связи с этим азотирование используют реже, чем цементацию, хотя оно и обеспечивает более высокую твердость и износостойкость поверхностей деталей.

В ряде случаев диффузионное насыщение стали одновременно углеродом и азотом дает определенные преимущества. Азот, способствуя диффузии углерода, дает возможность понизить температуру насыщения углеродом до 850 °С и получить то же науглероживание, что и при цементации. Такой процесс называют нитроцементацией. Нитроцементируемый слой хорошо сопротивляется изнашиванию и коррозии.

Электрофизические и электрохимические методы обработки

В настоящее время в машиностроении для изготовления деталей применяют процессы электроэрозионной, электрохимической, ультразвуковой, электронно-лучевой, светолучевой, плазменной и другие способы обработки. В зависимости от своей физической сущности каждый процесс оказывает свое воздействие на свойства материала заготовки.

Например, при *электроэрозионной обработке* поверхностный слой формируется за счет расплавленного металла, оставшегося на поверхности лунки, и прилегающего к ней слоя металла. Поверхностный слой оказывается состоящим из трех частей: слоя, в котором под воздействием импульсов высокой энергии произошли химико-термические превращения, переходного слоя, в котором имели место только термические изменения, и слоя исходного, неизмененного материала. Большой перепад температур нагрева слоев и быстрое охлаждение нагретого материала приводят к образованию остаточных напряжений в поверхностном слое и вызывают трещинообразование. После электроэрозионной обработки твердость поверхностного слоя повышается при сохранении вязкости сердцевины, обработанная поверхность имеет большое количество лунок и высокие значения параметров шероховатости, возможны трещины.

В основе процесса *электрохимической обработки* (ЭХО) лежит явление анодного растворения металлов. Под действием тока в электролите материал анода (заготовки) растворяется и выносится из промежутка между анодом и катодом (инструментом) потоком электролита. После ЭХО в поверхностном слое заготовки не наблюдаются изменения твердости, отсутствует наклеп, низкие значения параметров шероховатости поверхности несколько повышает механические свойства материала, но в то же время отсутствие наклепа, микрорастравливание по границам зерен, наводороживание поверхностного слоя снижают механические свойства материала, особенно сопротивление усталости.

Ультразвуковая обработка — это способ формообразования поверхностей заготовок в основном из твердых и хрупких материалов. Обработка осуществляется за счет ударов инструмента с ультразвуковой частотой по абразивным зернам суспензии, лежащим на поверхности заготовки. При ультразвуковой обработке происходит упрочнение поверхностного слоя и появляются остаточные напряжения сжатия. Шероховатость поверхности зависит от размеров зерен абразива, физико-механических свойств материала заготовки, амплитуды колебания инструмента, значений параметров шероховатости

поверхности инструмента, типа жидкости, несущей абразив; обычно $Ra = 2...5$ мкм.

Примеры различных способов обработки, приведенные выше, показывают, что в основе формирования свойств материала изготавливаемой детали лежат физические или химические явления, присущие данному способу обработки. Целью каждого из этих способов является удаление с заготовки того или иного слоя или объема материала, а качественная сторона процесса обработки является его следствием. Однако существуют и такие способы обработки заготовок, применение которых нацелено непосредственно на улучшение свойств материала изготавливаемых деталей. Примерами таких способов могут служить наплавка, напыление, упрочнение деталей лучом лазера.

Наплавку на поверхность заготовки осуществляют электродуговым методом под флюсом, плазменным методом, заливкой жидкого металла на твердую основу. Наименьшая толщина наплавленного слоя составляет 0,25 мм, верхний предел не ограничен. Этот способ дает возможность достичь высоких эксплуатационных свойств рабочих поверхностей деталей, например повысить износостойкость за счет покрытия их легирующими материалами. К наплавленному слою могут быть применены все методы термической или химико-термической обработки, доводящие свойства наплавленного материала до желаемого уровня.

Поскольку основную массу детали составляет недорогой материал, то наплавка дает большую экономию дорогостоящих легирующих материалов. Способ широко используют при восстановлении изношенных деталей. К числу недостатков наплавки относится недостаточная, в ряде случаев, прочность сцепления с основой наплавленного слоя и возможность образования металлургических дефектов в виде шлаковых включений, непроваров, трещин. Поэтому прибегать к наплавке при изготовлении деталей, несущих большую нагрузку, следует весьма осторожно.

Напыление заключается в расплавлении упрочняющего материала и распылении его струей сжатого газа в направлении обрабатываемой поверхности заготовки. Напыляют различные металлы и твердые сплавы. В зависимости от источника теплоты различают газовое, электрическое и плазменное напыление. Толщина напыленного слоя составляет 50—60 мкм. Способ дает возможность существенно повысить стойкостные и антикоррозийные свойства поверхностного слоя основного материала.

Лучшие эксплуатационные свойства обеспечивает метод плазменного напыления. Высокая температура плазменной струи позволяет напылять тугоплавкие материалы: оксид алюминия, вольфрам, ниобий, молибден, карбиды, бориты и др. В соответствии со свойствами

ми покрытий обеспечиваются высокие жаропрочность, сопротивление окислению, износостойкость деталей при высоких температурах и в агрессивных средах. Поток плазмы, не содержащий кислорода, не допускает окисления обрабатываемой поверхности. Поскольку нагрев поверхности заготовки не превышает 200 °С, исключается ее коробление. Способ позволяет наносить многослойные покрытия.

Упрочнение лучом лазера позволяет изменить свойства материала на различных участках детали, изготовляемой из сравнительно недорогого материала, и существенно повысить ее прочность, износостойкость и коррозионную стойкость. Под воздействием луча в поверхностном слое материала возникают структурные и фазовые превращения, во многих случаях приводящие к повышению его твердости.

Высокий уровень нагрева облучаемой поверхности заготовки открывает возможность насыщения поверхностного слоя углеродом и легирования вольфрамом, молибденом, твердыми сплавами и т.д. Механизм проникновения и распределения легирующих компонентов в основном материале представляет собой сложный процесс, включающий как механическое перемешивание составных элементов под действием гидродинамических сил и температурных градиентов, так и диффузионное распространение с образованием твердого раствора.

Перспективным является сочетание электроискрового легирования с лазерной обработкой. В результате электроискрового легирования происходит предварительное нанесение легирующего материала на поверхность заготовки и его частичное внедрение на небольшую глубину. Под воздействием импульсов луча лазера обеспечивается более равномерное распределение легирующих элементов и увеличение глубины зоны легирования.

Обеспечение требуемых свойств материала детали в процессе изготовления

Работоспособность детали зависит от того, насколько ее конструкция и материал, из которого она изготовлена, способны противостоять воспринимаемым рабочим и другим нагрузкам и воздействиям окружающей среды (температуры, запыленности, химической агрессивности среды и т.п.). Выбор материала и разработка конструкции детали ведут, зная условия, в которых детали предстоит работать. Недостаточно глубокое представление и учет этих условий при конструировании могут привести к снижению надежности и долговечности детали. Те же последствия могут быть вызваны отклонениями от требований к свойствам материала и точности геометрических параметров, допущенных при изготовлении детали.

Основными причинами отказов деталей в работающей машине являются изнашивание, коррозия, перераспределение остаточных напряжений, приводящие к потере геометрической точности детали, а также усталостные явления в материале и, как следствие, поломка детали. Из этого перечня причин видно, что большинство их связано со свойствами материала, определяемыми выбором материала при конструировании и обеспечением требуемых свойств при изготовлении деталей.

Требования к свойствам материала детали, выдвигаемые конструктором, чаще сводятся к указаниям в чертежах марки материала, твердости и значений параметров шероховатости поверхностей. Но этими требованиями не охватывается весь комплекс показателей, определяющих эксплуатационные свойства детали.

Механические, физические и химические свойства материала детали достигают в процессе ее изготовления через химический состав материала, его структуру, зернистость, структуру остаточных напряжений и качество поверхностных слоев. Поэтому технологу важно иметь требования к этой группе показателей. Однако предъявить их конструктор не в состоянии, так как пока не выявлены функциональные связи между ними и показателями эксплуатационной надежности деталей. Исключениями являются отдельные случаи особо высоких требований к свойствам материала, разработка которых сопровождается экспериментами и сложными расчетами. В целом же установление связей между двумя группами показателей представляет собой важнейшую научную проблему в материаловедении и для технологии машиностроения. Считая, что выбор материала детали был сделан конструктором правильно и сопровождается необходимыми требованиями, проанализируем источники возможных отклонений свойств материала в технологическом процессе. Такими источниками могут быть следующие.

1. Неправильный выбор исходного материала для заготовки и его дефекты.

2. Выбор способа получения заготовки, не обеспечивающего требуемые структуру, механические и химические свойства материала и возможность получения нужных свойств в технологическом процессе изготовления детали.

3. Дефекты заготовки, затрагивающие свойства ее материала.

4. Несоответствие свойствам материала последовательности, способов и режимов предварительной обработки заготовки, следствием чего могут быть нежелательные структурные изменения материала, остаточные напряжения, трещины в поверхностном слое и т.п.

5. Несоответствие марке материала режимов термической и химико-термической обработки заготовки, не обеспечивающих требуемые

структуру и твердость материала, нужное соотношение твердости поверхности и сердцевины заготовки, приводящие к ее короблению, обезуглероживанию и водородонасыщению поверхностного слоя, поверхностным трещинам и другим дефектам.

6. Неправильный выбор способа (сочетания способов) и режимов отделочной обработки заготовки, следствием чего могут быть закалка или, наоборот, отпуск и снижение твердости, перенаклеп и шелушение поверхностного слоя, несоответствие значений параметров шероховатости поверхностей детали требуемому уровню, напряжения растяжения в поверхностном слое и т.д.

7. Остаточные напряжения в материале детали, вызывающие ее коробление даже после того, как деталь будет установлена в машине и начнет функционировать.

Изложенное выше показывает, насколько сложно обеспечение требуемых свойств материала детали на каждом из этапов и в технологическом процессе изготовления детали в целом. Обширный круг факторов, сопровождающих формирование свойств материала детали, создает необходимость не только предвидения последствий того или иного решения, но и осознанной увязки входных и выходных данных по материалу на всех этапах процессов получения заготовки, механической, термической, химико-термической и других видов обработки.

В настоящее время в результате многочисленных научных исследований накоплены обширные данные об изменениях свойств материала при том или ином воздействии на него. К сожалению, пока эти сведения носят частный характер, не обобщены и не выявлены общие закономерности в виде надлежащих формул, номограмм, методик и т.п. Имея их, технологи смогли бы действовать более эффективно и, строя технологический процесс изготовления детали, целенаправленно обеспечивать требуемое качество ее материала.

Недостаточное внимание к свойствам материала в технологических процессах изготовления деталей обычно приводит к снижению их качества, а именно прочности, надежности и долговечности. Это подтверждают многочисленные примеры. Вот один из них. По наблюдениям Л.А. Ефанова, фактический ресурс работы грузовых автомобилей, тракторов, дорожных машин отечественного производства, работающих в условиях Севера при низких температурах, оказывается значительно ниже проектного. Сильное охлаждение делает отдельные детали этих машин хрупкими и приводит к быстрой их поломке. Поэтому часты случаи, когда с наступлением холодов двигатели машин, находящихся под открытым небом, не выключают, чтобы избежать переохлаждения и поломок деталей при включении двигателей.

Широко известны недолговечность сельскохозяйственных машин, низкое качество отечественного режущего инструмента и т.п. Во всех этих случаях причиной низкого качества изделий является то, что их материал либо был неправильно выбран при конструировании, либо не наделен надлежащими свойствами в технологических процессах изготовления.

Обеспечение необходимых свойств материала детали должно быть заложено в технологический процесс на стадии его проектирования. Как решение всякой проектной задачи, обеспечение требуемых свойств материала должно быть направлено от конечного результата, т.е. от требований к свойствам материала детали, к свойствам материала заготовки. При этом возможны два варианта действий.

По первому варианту задачи обеспечения требуемых геометрической точности и свойств материала детали решаются совместно. При таком подходе выбор способов и режимов обработки, последовательности выполнения переходов, формирование операций из переходов нужно вести одновременно по двум критериям: геометрическая точность и свойства материала детали.

По второму варианту разработку технологического процесса первоначально нацеливают на достижение геометрической точности детали. Затем все операции технологического процесса анализируют с точки зрения обеспечиваемости требуемых свойств материала изготавливаемой детали. В случае необходимости корректируют технологический процесс при обязательном условии обеспечения точности геометрических показателей детали.

Если действовать, придерживаясь первого варианта, то, исходя из требований к геометрической точности и свойствам материала детали, необходимо избрать такой способ, режимы и условия окончательной обработки заготовки, которые обеспечивали бы качество детали по показателям двух групп. Но получить требуемое качество детали при избранном способе можно лишь при определенных свойствах заготовки, которыми она наделяется, проходя обработку на предшествующих операциях. Эти свойства необходимо определить и использовать их в виде требований, из которых надо исходить, выбирая способ, режимы и условия обработки заготовки на предыдущей операции.

Таким образом, между операциями в технологическом процессе действуют функциональные связи между получаемыми результатами (выходными данными), возможностями выбираемых способов обработки и свойствами поступающей на обработку заготовки (входными данными) (рис. 6.10). Для любого показателя качества детали, независимо от его физической сущности, эта связь может быть представлена так:

$$K_d = \xi_{K_1} K_{z_1},$$

где K_d — один из показателей качества детали; K_{z_1} — аналогичный показатель свойств заготовки, поступающей на окончательную обработку; ξ_{K_1} — передаточное отношение технологической системы, учитывающее возможности способа обеспечить получение требуемого значения K_d при избранных режимах и условиях окончательной обработки заготовки.

Для промежуточных операций смысл связи остается тем же:

$$K_{z_i} = \xi_{K_i} K_{z_{i-1}},$$

где K_{z_i} и $K_{z_{i-1}}$ — характеристики выходных и входных данных заготовки по показателю K на i -й операции (отсчет операций ведут вспять ходу технологического процесса); ξ_{K_i} — передаточное отношение технологической системы, используемой на i -й операции.

Для того чтобы обосновать требования $T_{K_{z_1}}$ к качеству заготовки, поступающей на окончательную обработку, по показателю K , необходимо исходить из допуска T_{K_d} , ограничивающего отклонения этого показателя у готовой детали, и найти отношение этого допуска к передаточному отношению ξ_{K_1} :

$$T_{K_{z_1}} = T_{K_d} / \xi_{K_1}.$$

Используя полученный результат в качестве исходных данных, аналогичные требования можно установить для заготовки, поступающей на предшествующую операцию. Те же действия следует предпринять в отношении всех операций технологического процесса и, в конечном счете установить требования к качеству заготовки детали

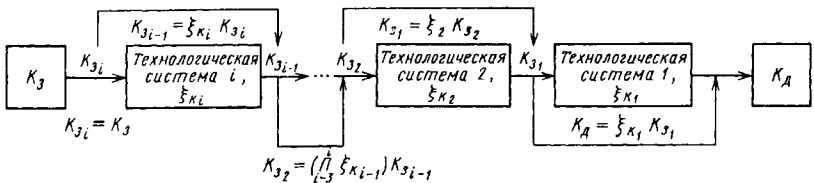


Рис. 6.10. Аналитические связи между операциями технологического процесса при переходе от заготовки к детали по показателю K качества

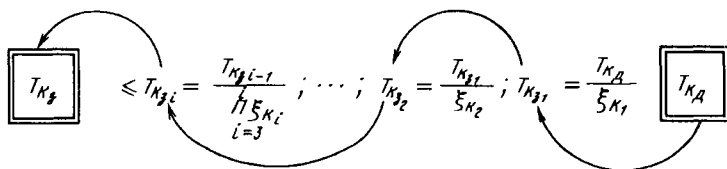


Рис. 6.11. Логическая схема перехода от требований к качеству детали к требованиям к качеству заготовки

по показателю K как к исходному продукту в технологическом процессе. Логичку и последовательность действий отображает схема, представленная на рис. 6.11.

При обширном составе требований к качеству детали может оказаться, что ни один из известных способов обработки не в состоянии обеспечить все требования одновременно. В таком случае обеспечивать качество детали придется поэтапно, избирая способы обработки, дающие нужные результаты по группам или даже отдельным показателям. Разумеется, что последовательное применение способов не должно нарушать качества детали, достигнутого на предшествующих этапах.

Решая задачи обеспечения требуемой точности геометрических параметров и качества материала детали отдельно, следует сначала решить первую из них, затем — вторую. Сущность действий при этом в принципе останется той же, хотя они и будут выполняться в два этапа.

Изложенный подход методически верно отражает направленность действий по обеспечению качества детали. Однако воспользоваться им в настоящее время практически невозможно из-за того, что пока не раскрыты связи между явлениями, одновременно формирующими в процессе обработки значения геометрических показателей и показателей свойств материала; поэтому нельзя учесть степень влияния факторов, проявляющегося по-разному в отношении каждого показателя. В силу этих причин любую технологическую систему можно рассматривать лишь в виде "черного ящика", обладающего множеством передаточных отношений соответственно множеству показателей качества (рис. 6.12). Значения передаточных отношений пока не известны.

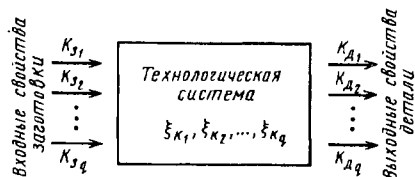


Рис. 6.12. Представление технологической системы в виде "черного ящика"

6.3. Долговечность проушин самолетных шасси в зависимости от способов обработки отверстий (по данным Б.В. Бойцова)

Способ обработки отверстий	Число циклов нагружения проушин до разрушения
Растачивание	37 230 — 66 640
Растачивание + обдувка электрокорундом + покрытие ВАП	95 430 — 119 650
Растачивание + ВАП + ПДН	457 600 — 568 420
Растачивание + ПДН (или раскатывание) + ВАП + ПДН (или раскатывание)	255 — 941 360

Примечание. ВАП — поверхностное упрочнение с покрытием из дисульфида молибдена; ПДН — пневмодинамический наклеп.

Несомненно, что с развитием технологии машиностроения и обобщением научных исследований проблема выявления аналитических связей между входными и выходными данными заготовки, проходящей через технологическую систему, будет решена. Пока же в осуществлении перехода от требований к качеству детали к свойствам заготовки, к способам, режимам и условиям ее обработки приходится полагаться на опыт технолога, который всегда может быть подкреплён производственными экспериментами.

Можно привести примеры, когда избранный способ и режимы обработки, обеспечивая на данной операции точность геометрических показателей детали, оказываются несостоятельными в отношении свойств ее материала. Ограничимся двумя примерами.

В табл. 6.3 приведены данные о долговечности проушин — деталей самолетных шасси из титанового сплава ВТ3-1, отверстия которых обработаны разными способами. Поскольку при всех способах обработки отверстий в проушинах точность диаметрального размера и формы отверстий обеспечивается в одинаковой мере, то с позиций геометрической точности выбор способа обработки будет равноценным. Однако с точки зрения долговечности проушин, зависящей от свойств материала в поверхностных слоях отверстий, поверхностное упрочнение в сочетании с покрытием из дисульфида молибдена приводит к 5—10-кратному увеличению долговечности.

Не менее интересны данные испытаний на усталость образцов, изготовленных из горячекатаного прутка стали 30ХГСН2А, подвергнутых различным способам отделочной обработки (табл. 6.4).

6.4. Выносливость образцов в зависимости от способов отделочной их обработки (по данным Б.В. Бойцова)

Способ отделочной обработки поверхностей образцов	Предел выносливости σ_{-1} , МПа
Тонкое точение	800
Шлифование	530
Шлифование + хромирование	150
Тонкое точение + алмазное выглаживание	930
Шлифование + суперфиниширование	680
Тонкое точение + суперфиниширование	830
Тонкое точение + суперфиниширование + хромирование	500
Шлифование + суперфиниширование + хромирование	280

Приведенные примеры убедительно показывают важность оценки избранного способа обработки заготовки с точки зрения свойств, которые могут быть приданы материалу детали в результате его применения. Такому анализу должны быть подвергнуты все операции технологического процесса, начиная с первой операции. Однако прежде всего необходимо быть уверенным в том, что свойства материала заготовки, поступающей на обработку, в полной мере будут соответствовать требованиям, выдвинутым в результате разработки технологического процесса изготовления детали и выбора способа получения заготовки. Уместно отметить, что из некачественной заготовки нельзя получить качественную деталь!

Свойства материала заготовки являются исходными в процессе изготовления детали. Ответственность за качество заготовок лежит на технологах и исполнителях технологических процессов.

Государственными стандартами предусмотрены термины и определения дефектов, а также установлены общие технические требования к литым заготовкам из чугуна, стали и других сплавов, к поковкам из конструкционной углеродистой и легированной стали, сварным заготовкам и пр.

Например, ГОСТ 19200—80 содержит перечень 50 видов возможных дефектов в отливках из чугуна и стали. В их числе дефекты, приводящие к нарушению геометрии отливок и качества их поверхностей, несплошности в теле отливок, включения, несоответствия по структуре.

Согласно ГОСТ 8479—70 "Поковки из конструкционной и легированной стали. Технические требования" заготовки, получаемые свободной ковкой и горячей штамповкой, в зависимости от назначения и условий работы деталей, изготовляемых из них, разделяются по видам испытаний на пять групп. Отнесение заготовки к той или иной группе производит заказчик, в лице которого выступает технолог — изготовитель деталей. При этом заказчик наряду с указанием марки стали устанавливает нормы твердости для поковок II и III групп и категории прочности для поковок IV и V групп в зависимости от требуемого уровня механических свойств поковок после термической обработки.

Стандартом определены состав и порядок проведения испытаний, в результате которых изготовитель поковок устанавливает соответствие свойств ее материала требованиям заказчика. В дополнение к испытаниям, установленным стандартом, заказчик может потребовать проведения дополнительных испытаний: определения структуры и остаточных напряжений, ударной вязкости при отрицательных температурах, проведения макро- и микроанализа структуры, определения величин зерен и др.

Для контрольной проверки потребителем качества литых, кованых, штампованных, сварных заготовок нужно применять правила отбора проб и методы испытаний, предусмотренные соответствующими государственными стандартами. Обеспечение требуемых свойств материала деталей машин возможно лишь при соответствии свойств материала заготовок требованиям, выдвигаемым технологом — разработчиком технологических процессов изготовления деталей.

При разработке процесса механической обработки заготовки прежде всего надо иметь в виду, что силовое и тепловое воздействия на заготовку приводят к структурным изменениям, наклепу и остаточным напряжениям поверхностного слоя. Степень изменения свойств материала заготовки по каждому показателю по-своему зависит от способа и режимов обработки. Это вынуждает выбор способа и режимов связывать либо с одним из показателей свойств материала, в расчете на то, что свойства материала по другим показателям будут обеспечены в ходе дальнейшей обработки заготовки, либо искать компромиссное решение. В последнем случае свойства материала заготовки не будут в полной мере обеспечены по всем показателям, и это следует учесть, разрабатывая дальнейшие этапы технологического процесса.

Выше была показана зависимость эксплуатационных свойств детали от способа или сочетания способов отделочной обработки заготовки. Однако не менее важен выбор способа и режимов первоначальной обработки (часто называемой черновой) заготовки. Стремле-

ние вести черновую обработку с наивысшей производительностью сопряжено с большими глубинами резания и подачами. Большие силы резания, воздействующие при этом на заготовку, могут привести к образованию трещин, неисправимым в ходе дальнейшей обработки. Ресурс службы детали в связи с этим резко уменьшается, особенно, если машине приходится работать в неблагоприятных условиях. Поэтому и черновую обработку заготовок следует вести на щадящих режимах.

Если процесс механической обработки заготовки прерывается термической или химико-термической обработкой, то формирование свойств материала заготовки будет подчинено закономерностям, присущим этим процессам. Направляя заготовку в термический цех, технолог — изготовитель детали должен четко поставить перед термистами задачу термообработки и выдвинуть требования к свойствам материала заготовки по прохождении ею термической обработки.

Многие технологические процессы, применяемые для получения заготовок и изготовления деталей, сопровождаются возникновением остаточных напряжений в материале. Остаточные напряжения могут образовываться во всем объеме материала, составляющего заготовку или деталь, либо в его отдельных частях.

Значительные остаточные напряжения возникают в отливках, поковках, в холоднодеформированных и сварных заготовках, при закалке, в процессе правки пруткового материала и т.п. Основной причиной образования остаточных напряжений является неравномерное остывание различных частей нагретой заготовки.

Например, в процессе остывания литой заготовки, имеющей стенки разной толщины, можно выделить три этапа. Первый этап — от начала остывания до момента времени t_1 , когда весь материал отливки находится в пластическом состоянии, поэтому остаточных напряжений в отливке еще нет. Второй этап составляет промежуток времени от t_1 до t_2 , в течение которого материал тонких стенок перейдет в упругое состояние. Поскольку материал толстых стенок пока находится в пластическом состоянии, то препятствий к усадке материала тонких стенок нет. Следовательно в них не возникают остаточные напряжения. Третий этап начинается со времени перехода в упругое состояние материала толстых стенок. При этом в тонких стенках отливки, препятствующих свободной усадке материала толстых стенок, возникают остаточные напряжения сжатия, а в толстых — напряжения растяжения.

Напряжения возникают с увеличением модуля упругости материала, поэтому остаточные напряжения, например, в стальных отливках выше, чем в чугунных. Наибольших значений остаточные напряжения достигают в отливках, имеющих сложные конструктивные

формы, стенки различной толщины, ребра, резкие переходы от одной стенки к другой и т.д.

Обычно остаточные напряжения уравновешены в объеме материала заготовки или детали и внешне ничем не проявляются, пока их равновесие не будет нарушено какими-либо причинами. Такими причинами могут быть удаление с заготовки отдельных слоев материала, тепловые и ударные воздействия на заготовку или деталь и др. Нарушение равновесия приводит к перераспределению остаточных напряжений, что сопровождается деформированием заготовки или детали и потерей точности всех геометрических показателей (формы, относительных поворотов, расстояний и размеров поверхностей). Перераспределение остаточных напряжений — весьма коварный фактор. Оно может проявляться не только в процессе изготовления детали, но продолжаться после того, как деталь будет установлена в машину на сборке, и даже в работающей машине.

Поэтому для обеспечения качества машины необходимо всеми возможными путями уменьшать остаточные напряжения в деталях. Основными мероприятиями для решения этой задачи являются следующие:

- разработка конструктивных форм деталей, отвечающих требованиям равномерного остывания всех ее частей;

- правильное ведение процессов получения литых и кованных заготовок и особенно их остывания;

- выделение черновой обработки заготовки в отдельные операции; естественное и искусственное старение заготовок.

Интенсивность перераспределения остаточных напряжений значительно возрастает при удалении с заготовки в процессе обработки поверхностных слоев материала. Поэтому после черновой обработки заготовку следует освободить от зажима, чтобы дать ей возможность свободно деформироваться. Это мероприятие уменьшает последующее деформирование заготовки, но не избавляет ее от него полностью. В связи с этим заготовку после черновой обработки подвергают естественному или искусственному старению.

При естественном старении заготовки размещают в помещении или на улице и предоставляют им возможность свободно деформироваться под воздействием внешней среды. Продолжительность естественного старения может быть различной и составлять от нескольких месяцев до нескольких лет.

Для того чтобы сократить цикл производства, естественное старение можно заменить искусственным. Одним из видов искусственного старения является термообработка. В зависимости от марки материала, конструкции, размеров и массы заготовки старение с помощью термообработки ведут при разных режимах. Однако суть ее остается

общей и сводится к постепенному нагреву заготовки до 500–650 °С, выдержке в течение нескольких часов и охлаждению вместе с печью со скоростью 20 °С/ч.

Искусственное старение может быть осуществлено и механическим путем: нанесением заготовке большого количества ударов. Для этого мелкие заготовки помещают во вращающиеся барабаны, где они обкатываются с небольшими кусками чугуна или специально изготовленной чугунной дробью. Крупные заготовки подвешивают и пневматическими молотками обстукивают со всех сторон, особенно в местах сосредоточения остаточных напряжений. Для снятия остаточных напряжений используют вибрационные стенды. Имеются предположения о возможности старения с помощью ультразвука.

В заключение хотелось бы обратить внимание читателя на то, что проявление связей свойств материалов в технологическом процессе изготовления детали многообразно и сопровождает каждое действие над заготовкой. Непосредственные связи существуют между свойствами материала детали и заготовки, поступающей на обработку, между свойствами материала заготовки перед операциями технологического процесса и по завершении их, между свойствами материала режущего инструмента и заготовки, между материалом заготовки и материалами, используемыми при химико-термической обработке и др.

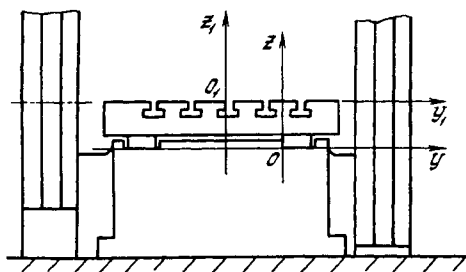
Требуемое качество материала детали достигается через многосторонние связи свойств материалов и изменения их свойств в технологическом процессе. Отсюда становится ясной важность понимания этих связей и осмысленных решений, направленных на получение заданных свойств материала детали, при разработке и осуществлении технологического процесса.

6.2. ДОСТИЖЕНИЕ ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ, РАЗМЕРОВ И ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Необходимую форму и требуемые размеры, относительное положение (расстояния и относительные повороты) поверхностей деталь в процессе изготовления приобретает в результате осуществления операций технологического процесса. На каждой операции выполняют какую-то его часть, для чего заготовку включают в систему координат станка, используемого для выполнения данной операции.

Обычно системы координат станков материализуют поверхностями направляющих станин. В качестве примера на рис. 6.13 изображены

Рис. 6.13. Системы прямоугольных координат продольно-фрезерного станка



станина и стол продольно-фрезерного станка и показана система прямоугольных координат $OXYZ$, связанная с горизонтальной и одной из вертикальных поверхностей направляющих станины.

При включении заготовки в систему координат станка очень важно, чтобы ей было придано в этой системе правильное положение. С наибольшей точностью положение заготовки было бы определено при совмещении ее технологических баз непосредственно с координатными плоскостями системы станка, т.е. с поверхностями его направляющих. Но тогда заготовка оказалась бы лишенной нужных перемещений и ее нельзя было бы обработать, поэтому на направляющих станков размещают специальные детали или узлы, перемещающиеся по направляющим и имеющие поверхности для установки заготовок или приспособлений. Комплект таких поверхностей образует другую систему координат $O_1X_1Y_1Z_1$, с плоскостями которой совмещают заготовки по их технологическим базам. Так, у продольно-фрезерного станка система $O_1X_1Y_1Z_1$ создана рабочей плоскостью стола и боковой поверхностью одного из Т-образных пазов, являющихся исполнительными поверхностями станка.

Поскольку образование поверхностей детали в процессе обработки заготовки идет относительно системы $OXYZ$ станка, то очевидно, что всякое отклонение положения системы $O_1X_1Y_1Z_1$ относительно системы $OXYZ$ будет перенесено на деталь. Поэтому при изготовлении станков стремятся к приданию положения системе $O_1X_1Y_1Z_1$ относительно системы $OXYZ$ с наименьшими отклонениями.

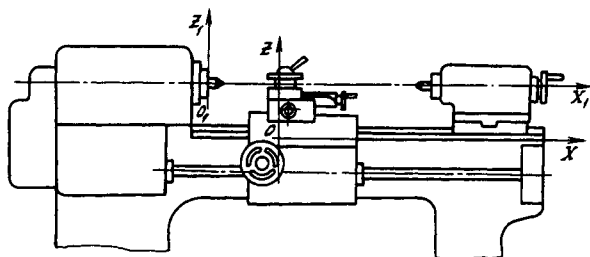


Рис. 6.14. Системы прямоугольных координат токарно-винторезного станка

У некоторых станков система $O_1X_1Y_1Z_1$ материализуется по-иному. Например, на токарно-винторезном станке (рис. 6.14) положение заготовки вала в системе станка определяется с помощью центров, установленных в конические отверстия шпинделя и пиноли. Общая ось отверстий представляет собой линию пересечения координатных плоскостей $X_1O_1Y_1$ и $X_1O_1Z_1$, т.е. ось O_1X_1 . Положение этой оси в системе $OXYZ$ станка устанавливается через переднюю и заднюю бабки станка, а непосредственно на направляющих станины размещена каретка с суппортом, несущим режущий инструмент.

Помимо заготовки, не менее важным является придание требуемого положения режущему инструменту в системе станка. Это достигается через связь системы $O_2X_2Y_2Z_2$, совмещенной с режущими кромками инструмента, с системой $OXYZ$ станка.

Отклонения формы, относительного поворота, расстояния и размеров поверхностей детали являются следствием следующих причин:

отклонений в пространстве технологических баз заготовки (системы $O_1X_1Y_1Z_1$) и режущего инструмента (системы $O_2X_2Y_2Z_2$) от требуемого положения в системе $OXYZ$ станка;

деформирование станка, заготовки и инструмента под воздействием разного рода сил и теплоты.

Обе причины потери точности детали в процессе ее изготовления возможны на каждом из этапов выполняемых операций. Рассмотрим эти этапы и происхождение отклонений формы, размеров и относительного положения поверхностей изготавливаемой детали.

Три этапа в выполнении операции

В выполнении любой операции технологического процесса изготовления детали можно выделить три этапа: установку заготовки, статическую настройку технологической системы и непосредственно обработку заготовки.

Связь трех этапов в образовании выдерживаемого размера A_Δ можно отразить схемой, представленной на рис. 6.15, а. Размер A_Δ детали, получаемый в результате обработки заготовки на вертикально-фрезерном станке, представлен замыкающим звеном размерной цепи. Ее составляющими звеньями являются следующие размеры:

установки A_y заготовки, характеризующий положение заготовки в системе $OXYZ$ станка;

статической настройки A_c технологической системы, т.е. размер, определяющий положение фрезы в системе $OXYZ$ станка;

динамической настройки A_d технологической системы, учитывающий относительные отклонения в положении заготовки и фрезы, возникающие в процессе обработки заготовки.

Рис. 6.15. Связь трех этапов в выполнении операции при выборе в качестве начала отсчета направляющих (а) и исполнительных (б) поверхностей станка

Уравнение размерной цепи будет иметь вид

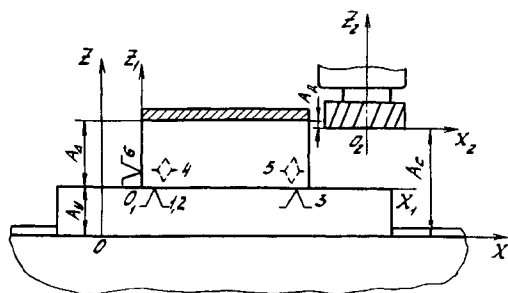
$$A_{\Delta} = -A_y + A_c + A_d.$$

Поскольку выполнение этапов операции сопровождается возникновением погрешностей, то погрешность замыкающего звена A_{Δ} явится суммой погрешностей, возникающих на каждом этапе:

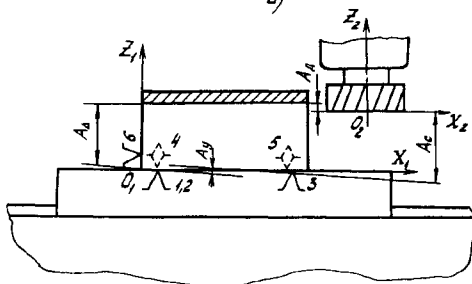
$$\omega_{A_{\Delta}} = \omega_{A_y} + \omega_{A_c} + \omega_{A_d}.$$

Уравнения размерной цепи и суммы погрешностей не следует воспринимать как математические зависимости. Это всего лишь схемы зависимостей, а компоненты формул — символы величин, определяющих в пространстве положение системы $O_1X_1Y_1Z_1$, связанной с заготовкой, системы $O_2X_2Y_2Z_2$, совмещенной с инструментом, относительно системы координат станка, а также относительные изменения в пространстве положения этих систем в процессе обработки заготовки.

Трудности учета положения заготовки и инструмента непосредственно в системе координат станка вынуждают использовать в качестве начала отсчета систему, совмещенную с исполнительными поверхностями станка (рис. 6.15, б). В данном примере номинальное значение размера $A_y = 0$ (точно так же, как и размера A_d). Перенос начала отсчета на исполнительные поверхности станка связан с появлением систематических погрешностей, обусловленных точностью размерных связей рабочих поверхностей станка с направляющими станины.



а)



б)

Погрешности, возникающие на каждом из этапов операции, являются следствием проявления многих факторов и суммами частных отклонений, порождаемых действием этих факторов. Рассмотрим причины возникновения погрешностей установки заготовки, статической и динамической настройки технологической системы.

Под установкой заготовки понимают ее базирование и закрепление непосредственно на исполнительных поверхностях станка, либо в приспособлении, установленном на них.

Заготовку базируют в пространстве под воздействием сил, необходимых для ориентации заготовки в системе координат станка. О правильности базирования заготовки судят по результатам измерения ее положения относительно исполнительных поверхностей станка или, если применяют приспособление, по полноте контакта заготовки с базирующими элементами приспособления.

В процессе базирования отсутствуют силы, способные деформировать заготовку. Тем не менее процесс базирования сопровождается погрешностью, представляющей отклонение фактически достигнутого заготовкой положения от требуемого в системе $OXYZ$ станка. Возможны следующие причины возникновения погрешности базирования:

перенос начала отсчета с направляющих на рабочие поверхности станка, т.е. проведение измерений не в системе $OXYZ$, а в системе $O_1X_1Y_1Z_1$, если заготовка установлена непосредственно на исполнительных поверхностях станка;

появление дополнительных звеньев в связях, определяющих положение заготовки в системе $OXYZ$ с применением приспособления (рис. 6.16);

неудачное место приложения и направление равнодействующей ориентирующих сил, что при наличии сил трения заготовки

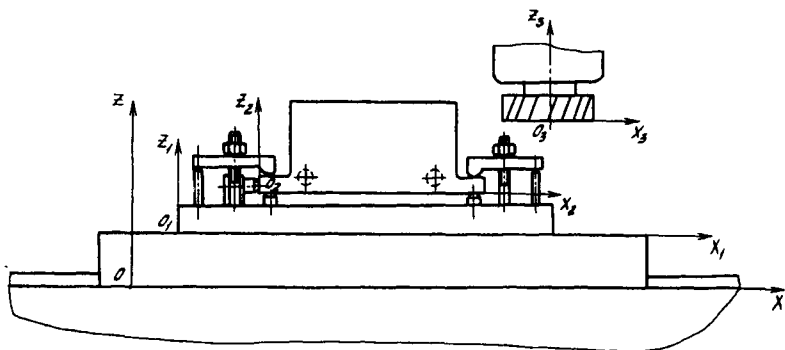


Рис. 6.16. Введение дополнительного звена (приспособления) в технологическую систему

с опорами приспособления может привести к ее заклиниванию и отсутствию контакта с отдельными базирующими элементами приспособления; при этом предписанная схема базирования заготовки будет нарушена;

погрешности измерения.

Погрешность, допущенная при базировании заготовки, прямым путем отразится на точности линейных и угловых размеров детали, получаемых непосредственно от технологических баз.

По завершении базирования заготовка должна быть закреплена. Для этого к заготовке должны быть приложены силы и пары сил с целью обеспечения постоянства ее положения, достигнутого при базировании.

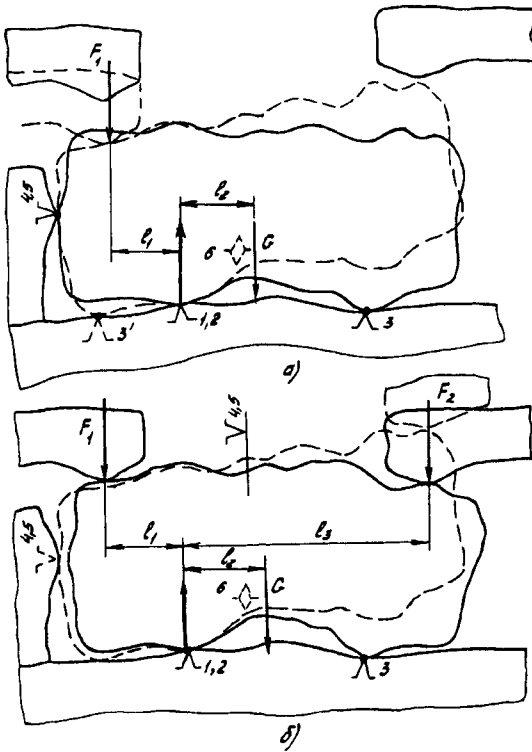
Закрепление заготовки проходит в сложных условиях и сопровождается рядом случайных событий. Прежде всего случайным оказывается местоположение точек контакта поверхностей заготовки с поверхностями станка или приспособления, на которые ее устанавливают. Причиной этого является то, что и те и другие поверхности наделены отклонениями формы. Случайным, опять-таки из-за отклонений формы поверхностей заготовки и прихватов, может оказаться положение точек, в которых будут приложены силы закрепления. Срабатывание прихватов может быть неодновременным и проходить в разной последовательности, а значения сообщаемых ими сил могут быть непостоянными и случайными по характеру. Все это приводит к тому, что длины плеч, на которых будет проявляться действие сил закрепления, окажутся также случайными.

Таким образом, заготовка в процессе закрепления будет находиться под воздействием случайно сформировавшейся системы сил, способной не только нарушить положение заготовки, достигнутое при базировании, но и деформировать заготовку, крепежные устройства, приспособление и даже детали станка (рис. 6.17).

Пусть базирование заготовки завершилось ее контактом с поверхностью стола станка и опорами, установленными на нем, в точках 1, 2, 3 по установочной базе, точках 4, 5 по направляющей базе и точке 6 по опорной базе (рис. 6.17, а). Если первым в действие будет приведен левый прихват, а момент $F_1 l_1$ окажется большим момента $G l_2$, созданного массой заготовки, то заготовка повернется вокруг линии, проходящей через точки 1, 2 и коснется поверхности стола в точке 3. При этом заготовка будет скользить поверхностями баз в точках 1, 2 и 4, 5. Опорные точки переместятся на другие участки установочной и направляющей баз.

Теперь, под воздействием момента $F_2 l_3$ (рис. 6.17, б) заготовка сможет коснуться поверхности стола в точке 3 или в точке, близко расположенной к ней, если деформируются сама заготовка, детали

Рис. 6.17. Формирование погрешности установки заготовки



крепёжных устройств и, возможно, стол станка. Однако касания заготовкой стола в точке 3 может и не быть, если деформации окажутся недостаточными. В этом случае контакт заготовки со столом по установочной базе окажется неполным. Кроме того, поворот заготовки под воздействием момента $F_2 l_3$ приведет к отрыву ее направляющей базы от опор в точках 4 и 5, и направляющая база станет скрытой.

Таким образом, закрепление заготовки может быть сопряжено с ее неоднократными перемещениями, изменениями ее схемы базирования и переходом в иную систему координат, с деформациями заготовки. Все это не может не отразиться на точности детали. В своей совокупности описанные явления приводят к отклонениям поворота и расстояния обработанных поверхностей относительно проектных технологических баз заготовки. Деформирование заготовки в направлении обратном действовавшей силы под воздействием

удругих свойств ее материала, которое возникает после снятия крепления, приведет к отклонениям формы обработанной поверхности. Необратимым окажется пластическое деформирование самой заготовки в местах ее контакта с базирующими элементами станка, приспособлениями, прихватами.

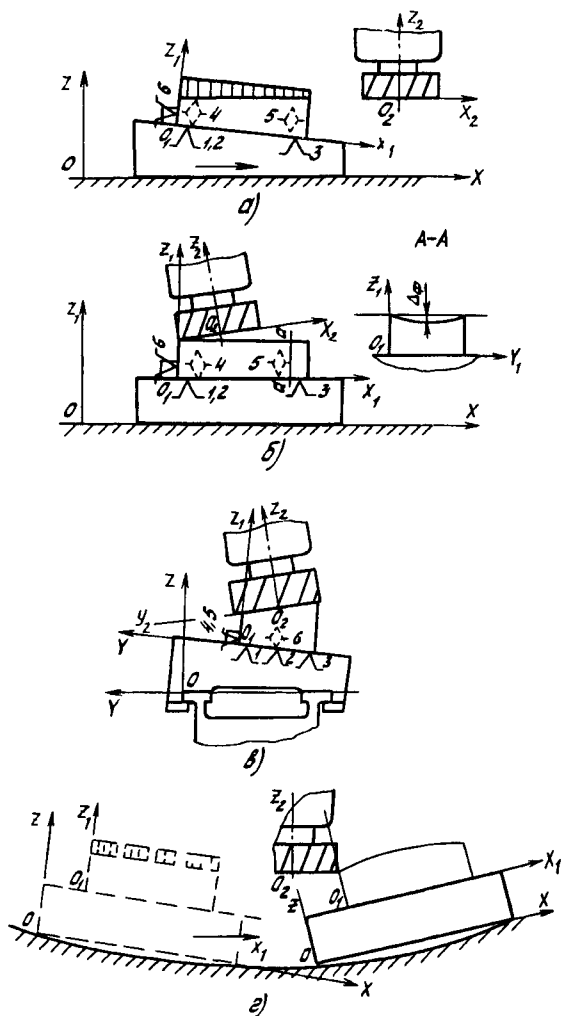
Статическую настройку технологической системы составляют действия, связанные с приданием в системе координат станка требуемого положения приспособлениям, базирующим заготовку и режущий инструмент, а так же режущим кромкам инструмента, и обеспечением в системе координат станка относительного движения заготовки и режущего инструмента с требуемой точностью.

Часть статической настройки технологической системы осуществляют в процессе изготовления станка, другую часть перед выполнением операций технологических процессов изготовления деталей.

Часть статической настройки, производимая при изготовлении станка, заключается в построении кинематических цепей, обеспечивающих с соответствующей точностью относительные движения исполнительных поверхностей станка, придании в системе координат станка требуемого положения его исполнительным поверхностям, а также обеспечении требуемой точности формы как исполнительных поверхностей, так и поверхностей, материализующих плоскости системы координат станка.

Например, в процессе изготовления вертикально-фрезерного станка реализуется комплекс механизмов, создающих относительные движения стола и шпинделя, несущего фрезу, с диапазонами скоростей подач, предусмотренными служебным назначением станка. При изготовлении же станка рабочим поверхностям стола и оси вращения шпинделя придается с требуемой точностью положение относительно направляющих станины; прямолинейность движения стола обеспечивается формой направляющих станины. Допущенные при этом отклонения переносятся на изготавливаемую деталь. Так, отклонение от параллельности рабочей поверхности стола относительно направляющих приведет к отклонению обработанной поверхности заготовки от параллельности относительно ее технологических баз (рис. 6.18, а). Отклонения от перпендикулярности оси вращения шпинделя в координатных плоскостях XOZ и YOZ относительно плоскости XOY явятся причинами, в первом случае, возникновения отклонения Δ_{ϕ} от плоскостности обработанной поверхности (рис. 6.18, б), в другом — ее отклонения от параллельности относительно технологической базы заготовки. Последнее отклонение может быть усилено отклонением от параллельности поверхности стола направляющим станины в плоскости YOZ (рис. 6.18, в). К отклонениям формы

Рис. 6.18. Проявление погрешностей статической настройки технологической системы, допущенных на стадии ее изготовления, в процессе обработки заготовки



обработанной поверхности заготовки приведет к непрямолинейности движения стола станка из-за отклонений формы поверхностей направляющих станины (рис. 6.18, г).

Погрешности статической настройки станка, допущенные в стадии его изготовления, будут проявляться при изготовлении деталей как систематические отклонения. Это значит, что степень их участия в формировании погрешностей формы и относительного поворота

обрабатываемых поверхностей каждой детали будет одинаковой при сохранении первоначальной точности станка.

Другая часть статической настройки технологической системы, проводимая перед выполнением операций, связана с установкой приспособлений для базирования и закрепления заготовок и режущего инструмента, установкой режущих кромок инструмента на требуемом расстоянии относительно поверхностей станка или приспособления, базирующих заготовку, а также настройкой самого режущего инструмента.

Например, настройка горизонтально-расточного станка для обработки отверстия в корпусной детали и получения размеров A и D (рис. 6.19) будет включать следующие этапы.

1. Установка приспособления Π на столе C станка.

2. Настройка инструмента на размер D , т.е. установка резца в инструментальной оправке с вылетом вершины относительно оси конического хвостовика на расстоянии A_{c1} .

3. Установка оправки в шпиндель станка и совмещение оси конического хвостовика с осью вращения шпинделя. Допущенное при этом смещение осей будет представлять собой погрешность размера $A_{y.ин}$ установки инструмента.

4. Придание оси вращения шпинделя требуемого положения в системе $O_2X_2Y_2Z_2$ для получения размера A , т.е. положения, характеризуемого размером A_{c2} .

Введение в технологическую систему приспособлений увеличивает число составляющих звеньев в ее размерных и, возможно, кинематических связях. Собственная неточность приспособлений, а также погрешности их базирования и закрепления при установке влекут за

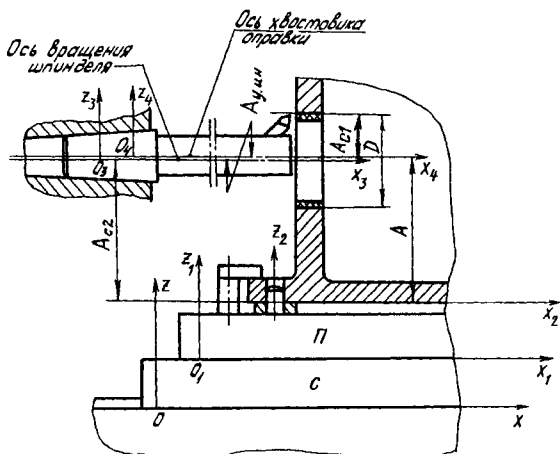


Рис. 6.19. Задачи статической настройки горизонтально-расточного станка непосредственно через обработку заготовки

собой дополнительные отклонения в положении заготовки (об этом говорилось ранее) и инструмента в системе *OXYZ* станка. Кроме того, базирование и закрепление режущего инструмента сопровождается его собственной погрешностью установки.

Металлорежущие станки всех типов оснащают устройствами, позволяющими устанавливать режущие кромки инструментов на требуемом расстоянии в направлении выдерживаемого линейного размера от исполнительных поверхностей станка или приспособления. Таким образом, статическую настройку станка на получение линейных размеров обычно осуществляют методом регулирования. Настройка сводится к установлению непосредственной линейной связи между режущими кромками инструмента и поверхностями станка или приспособления, базирующего заготовку.

Задачу обеспечения при настройке точности поворота обрабатываемых поверхностей заготовки относительно ее технологических баз в подавляющем большинстве случаев решают методом полной или неполной взаимозаменяемости. Только в редких случаях станки оснащают устройствами, позволяющими регулировать угловое положение исполнительных поверхностей станка или приспособлений для заготовки и инструмента в системе *OXYZ* станка.

Статическая настройка технологической системы может предшествовать установке заготовки, но может проводиться и после нее. В первом случае при данной настройке обрабатывают партию заготовок, а погрешность статической настройки проявляется как систематическая погрешность, переносимая на каждую изготовленную деталь. Во втором случае погрешность статической настройки окажется присущей только данной детали и будет носить случайный характер. При настройке станка после установки заготовки можно скомпенсировать линейную составляющую погрешности установки заготовки.

Поскольку статическая настройка технологической системы сопровождается измерениями, то погрешности измерений будут входить в погрешность настройки в качестве одного из слагаемых.

Погрешность динамической настройки технологической системы является следствием перемещений заготовки и режущих кромок инструмента в пространстве относительно системы *OXYZ* станка, возникающих в процессе обработки под воздействием сил резания, теплоты и других факторов.

На рис. 6.20 отображены исходное, промежуточное и конечное положение фрезы и заготовки, обрабатываемой на вертикально-фрезерном станке. При движении стола и со сменой точек его контакта с направляющими станины образование различных участков поверхности детали будет идти в различных системах координат. Это

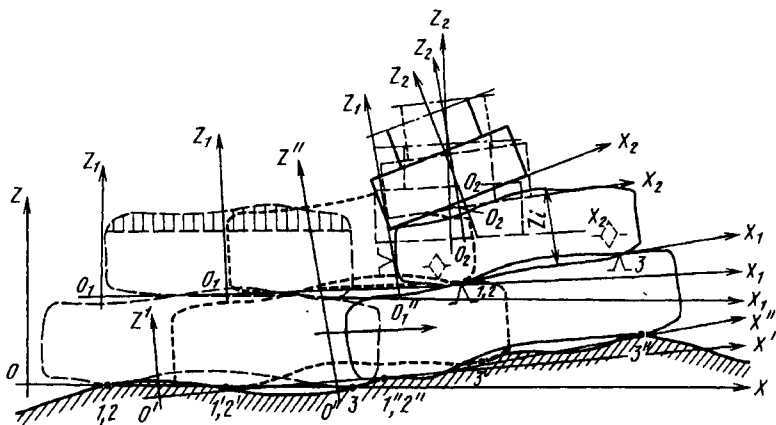


Рис. 6.20. Явления, порождающие погрешность динамической настройки технологической системы

повлечет за собой изменения в пространстве положения системы $O_1X_1Y_1Z_1$, связанной с технологическими базами заготовки. Помимо этого, относительное положение этой системы и системы $O_2X_2Y_2Z_2$, совмещенной с фрезой, будет изменяться под воздействием динамических факторов. Следствием этих явлений будет непрерывное изменение текущего размера z_i — расстояния между точкой поверхности, образуемой в результате обработки заготовки, и ее технологической базой. Изменения текущих размеров приведут к отклонениям формы (по трем показателям) относительного поворота, расстояния обработанной поверхности относительно технологических баз заготовки. Возникающие в процессе обработки заготовки отклонения налагаются на те отклонения, которые были predeterminedены установкой заготовки, режущего инструмента и статической настройкой технологической системы, и суммируются с ними.

В процессе обработки не остается неизменным состояние самой заготовки. Силы резания и выделяющаяся теплота деформируют заготовку. Упругие, пластические и тепловые деформирования активно содействуют снижению точности изготавливаемой детали по всем показателям.

Значения погрешностей динамической настройки технологической системы зависят от свойств материала заготовки, припуска на обработку, режимов обработки, состояния станка, приспособления и инструмента, условий обработки и других факторов. В своем

проявлении эти факторы могут носить как систематический, так и случайный характер.

В большой степени качество исполнения трех этапов операции зависит от квалификации наладчика и оператора. Их недостаточная квалификация и допускаемые ошибки существенно влияют на качество изготавливаемых деталей.

Подводя итог изложенному, можно отметить, что на каждом этапе операции в технологической системе формируются определенные размерные связи. Форма, относительные повороты, расстояния и размеры поверхностей детали, обработанных на данной операции, являются отражением размерных связей, действовавших в технологической системе при выполнении трех этапов операции.

Ниже следует более глубокое рассмотрение состава факторов, вызывающих погрешности установки заготовки, статической и динамической настройки технологической системы, и пути сокращения этих погрешностей.

Сокращение погрешности установки

Влияние на погрешность установки заготовки размеров поверхностей технологических баз. Известно, что направление одной прямой линии относительно другой характеризуется углом α между ними или тангенсом этого угла $\operatorname{tg}\alpha = a/b$, где a и b — катеты прямоугольного треугольника. Если a считать линейной ошибкой, допущенной на расстоянии b (рис. 6.21, а), то очевидно, что чем больше будет b , тем меньшим будет угол α или его тангенс.

Установочная технологическая база заготовки определяет ее угловое положение в направлениях двух координатных осей. Отсюда

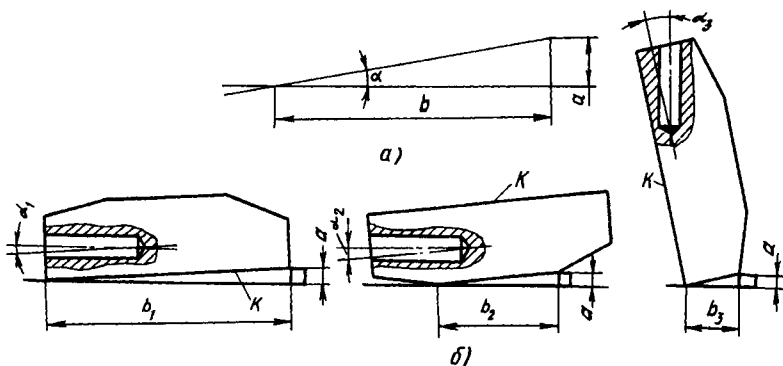


Рис. 6.21. Зависимость погрешности установки заготовки от размеров поверхностей, используемых в качестве технологических баз

вытекает требование: в качестве технологической установочной базы нужно использовать поверхность заготовки, имеющую большие габаритные размеры. При этом погрешность установки заготовки в двух координатных направлениях будет наименьшей.

При одной и той же линейной ошибке a (рис. 6.21, б), вызванной, например, попаданием стружки, погрешность установки заготовки, а следовательно, и отклонение от параллельности оси обработанного отверстия относительно поверхности K детали будет наименьшим, если в качестве установочной базы будет использована поверхность наибольших габаритных размеров. Действительно, $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$.

Аналогичные рассуждения приводят к выводу, что в качестве технологической направляющей и технологической двойной направляющей баз нужно использовать поверхности заготовки, имеющие наибольшую протяженность. В качестве технологической опорной базы, отнимающей у заготовки возможность перемещения в одном направлении, можно использовать поверхность любых габаритных размеров.

Требования к размерам поверхностей технологических баз в той же мере относятся к конструкторским (основным и вспомогательным) и измерительным базам.

Определенность и неопределенность базирования заготовки. Для того чтобы заготовка заняла и сохранила требуемое положение в процессе обработки относительно поверхностей станка или приспособления, базирующих ее, необходимо обеспечить определенность ее базирования.

Под определенностью базирования заготовки понимают соответствие ее положения в результате установки и в процессе обработки теоретической схеме базирования.

Определенность базирования характеризуется расположением точек контакта заготовки с деталями станка или приспособления в соответствии со схемой базирования и сохранением этого контакта в процессе обработки заготовки. Всякое нарушение этих условий приводит к неопределенности базирования заготовки.

Неопределенность базирования заготовки может быть вызвана:

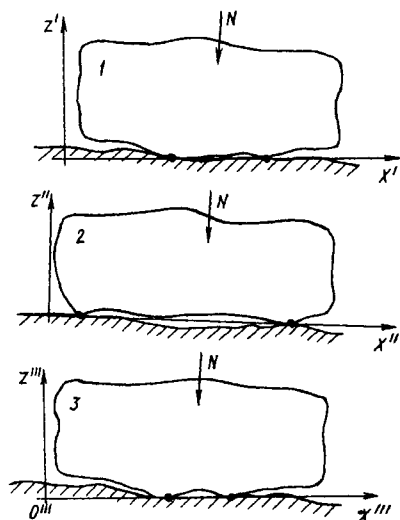
случайностью подбора и местонахождения точек контакта заготовки с базирующими элементами станка или приспособления из-за отклонений формы контактирующих поверхностей (рис. 6.22);

неполным контактом заготовки с базирующими элементами приспособления;

деформированием заготовки при закреплении и в процессе обработки;

недостаточностью сил закрепления, так называемого силового замыкания, в сравнении с силами, действующими на заготовку в процессе ее обработки.

Рис. 6.22. Случайное расположение точек контакта заготовки с базирующими элементами станка или приспособления



Неопределенность базирования приводит к отклонениям всех показателей точности изготовленной детали. Если отклонения окажутся значительными, деталь может попасть в брак, поэтому при разработке и осуществлении технологических процессов, при проектировании станков и приспособлений нужно предпринимать меры по повышению уровня определенности базирования заготовок.

Так как подбор и местоположение точек контакта заготовки с элементами приспособления зави-

сит от формы рельефов их контактирующих поверхностей, то одним из мероприятий по обеспечению определенности базирования заготовок будут более высокие требования к точности формы и шероховатости поверхностей баз заготовки и исполнительных поверхностей станка или приспособления.

Большей определенности в местоположении точек контакта в стыках заготовки с поверхностями станка или приспособления способствует определенная направленность отклонений формы поверхностей технологических баз. Чтобы иметь более благоприятное размещение точек контакта (рис. 6.23), необходимо задавать и соблюдать при обработке отклонения от плоскостности поверхностей технологических установочных баз в сторону вогнутости; поверхностей технологических направляющих баз в сторону вогнутости в продольном направлении и выпуклости в поперечном сечении; поверхностей технологических опорных баз в сторону выпуклости.

Случайность подбора точек контакта может быть существенно уменьшена, если в приспособлениях предусматривать специальные опоры, на которые нужно устанавливать заготовку (рис. 6.24). Опоры в приспособлении устанавливают в соответствии с требованиями, предъявляемым к размерам технологических баз. Опоры, с которыми заготовка должна соприкоснуться своей установочной базой, должны быть размещены на возможно больших расстояниях в двух координатных направлениях. Опоры под направляющую базу заго-

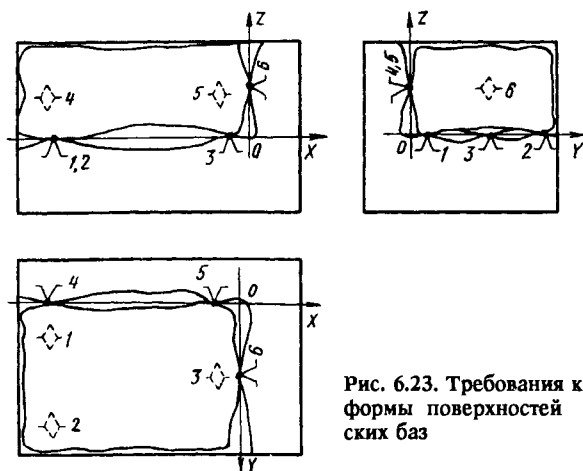


Рис. 6.23. Требования к отклонениям формы поверхностей технологических баз

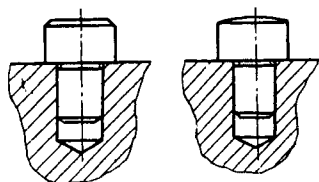


Рис. 6.24. Опоры в приспособлениях, повышающие определенность базирования заготовки

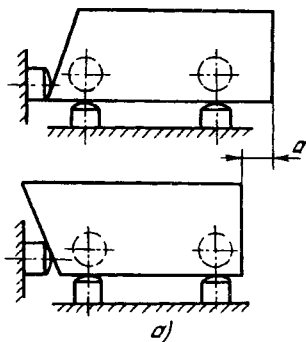
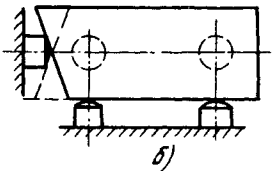


Рис. 6.25. Установка опор в приспособлении, повышающая определенность базирования заготовки по направляющей и опорной базам



товки должны находиться на возможно большем расстоянии относительно друг друга. Особо важно оснащение специальными опорами приспособлений для тех операций, где заготовку устанавливают на необработанные поверхности, имеющие большие отклонения формы.

Погрешность установки заготовки в направлениях направляющей и опорной технологических баз оказывается зависящей от того, на какой высоте в приспособлении опоры под эти базы находятся от установочной базы. В общем случае поверхности направляющей и опорной баз имеют отклонения от перпендикулярности относительно установочной базы. Если в приспособлении опору, с которой заготовка соприкасается опорной базой, разместить так, как показано на рис. 6.25, *а*, то заготовка может быть установлена с линейной ошибкой *a*. Этого не произойдет, если опора будет находиться в среднем сечении заготовки (рис. 6.25, *б*). Это положение в той же мере касается размещения опор под направляющую базу заготовки.

Закрепление заготовки может привести к ее деформированию, смене точек контакта заготовки с базирующими поверхностями станка или приспособления и, в конечном счете, к погрешности базирования. Чтобы избежать или, по крайней мере, снизить собственные деформации заготовки, необходимо стремиться к тому, чтобы точки приложения сил закрепления находились над опорами приспособления и по нормали к поверхностям опор осуществлялось действие сил.

На рис. 6.26 показаны правильное и неправильное закрепления заготовки станины. Смещения точек приложения сил закрепления относительно опор привело к возникновению изгибающих моментов $M = Pl$ и деформированию заготовки станины.

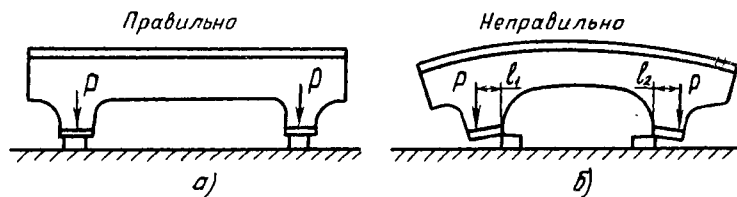


Рис. 6.26. Влияние местоположения точек приложения сил закрепления на погрешность установки заготовки

При изготовлении нежестких деталей (длинных валов при малых диаметрах, тонких планок и плит и т.п.), уже при установке заготовок приходится предпринимать меры по повышению их жесткости. Такими мерами являются приспособления в виде люнетов, применяемые при изготовлении деталей типа тел вращения, встраиваемые в приспособления регулируемые дополнительные опоры и т.д. В качестве примера на рис. 6.27, *а* показано применение дополнительных опор при изготовлении нежесткой плиты. После установки заготовки

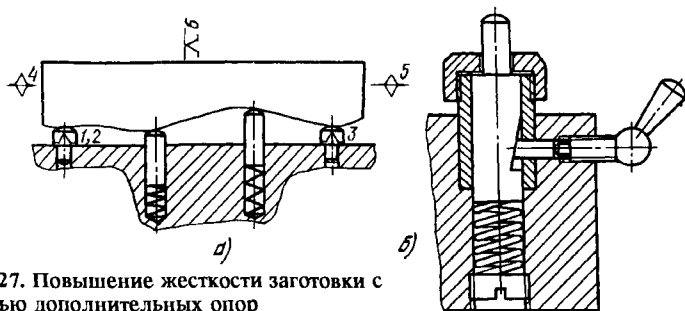


Рис. 6.27. Повышение жесткости заготовки с помощью дополнительных опор

на основные опоры подводят дополнительные опоры и при соприкосновении с ней фиксируют, например, клиньями (рис. 6.27, б). Схема базирования заготовки при этом не нарушается.

При установке крупногабаритных и тяжелых заготовок возможно их собственное деформирование под действием силы тяжести. Установка таких заготовок сопровождается выверкой, а деформации устраняются регулируемыми опорами, способными оказывать противодействие силе тяжести.

Определенность базирования заготовки в процессе ее обработки обеспечивается действием сил закрепления. При этом важно, чтобы силы, обеспечивающие постоянство контакта заготовки с базирующими элементами станка или приспособления, были приложены ранее внешних сил, стремящихся нарушить контакт между ними. По своему значению силовое замыкание заготовки должно быть больше сил и моментов сил, воздействующих на заготовку в процессе ее обработки.

Следовательно, одной из причин неопределенности базирования является смена баз, возможная как при установке, так и в процессе обработки заготовки. Рассмотрим явление смены баз подробнее.

Смена и несовмещение баз. В общем случае под сменой баз понимают замену одних баз другими с сохранением их принадлежности к конструкторским, технологическим или измерительным базам.

Смена баз может происходить случайно и вопреки нашему желанию. Причинами смены баз являются погрешности формы и относительного поворота поверхностей баз заготовки, конструктивные дефекты и изношенность приспособлений, неудачная последовательность приложения и недостаточность сил закрепления. Смена баз возможна как при установке, так и в процессе обработки заготовки. Смена баз влечет неопределенность базирования заготовки.

Поясним изложенное на примере установки заготовки призматической детали в тисках (рис. 6.28). Обработке подлежит поверхность A заготовки. Одной из задач обработки является обеспечение параллельности β поверхности A относительно поверхности B . В процессе обработки поверхность B должна выполнять роль технологической установочной базы, поверхность B — роль направляющей базы.

Предположим, что поверхность B заготовки имеет отклонение от перпендикулярности к поверхности A (рис. 6.28, *a*). Неперпендикулярной к своим направляющим оказалась и рабочая поверхность подвижной губки тисков. При закреплении заготовки в противодействии вступят моменты, созданные силой тяжести G заготовки и силой F закрепления. Если окажется $Fl > Ga$, то подвижная губка тисков при наличии зазора в направляющих, а вместе с ней и заготовка повернутся и займут положение, показанное на рис. 6.28, *б*. Произойдет смена технологических баз: роль установочной базы будет выполнять поверхность B , а направляющей — ребро, образованное пересечением поверхностей B и B .

Если под воздействием силы резания не произойдет обратной смены баз, то требуемая параллельность β поверхности A к B будет достигаться через трехзвенную размерную цепь:

$$\beta = \beta_{\Delta} = \beta_1 + \beta_2$$

и соответственно

$$\omega_{\beta_{\Delta}} = \omega_{\beta_1} + \omega_{\beta_2}.$$

К смене баз следует отнести и переход заготовки в новые системы координат в связи с последовательным прохождением нескольких операций при сохранении схемы ее базирования. Попадая на другие станки и контактируя всякий раз с исполнительными поверхностями станков или приспособлений в других точках, заготовка будет находиться в разных системах координат.

При изготовлении детали всегда желательны в технологическом процессе наиболее короткие размерные связи. Этого можно достичь, если в качестве технологических баз использовать непосредственно поверхности детали, от которых заданы линейные и (или) угловые размеры.

Однако иногда приходится сознательно отступать от этого правила и использовать в качестве технологических баз другие поверхности детали. Необходимость в таких отступлениях может быть вызвана следующим:

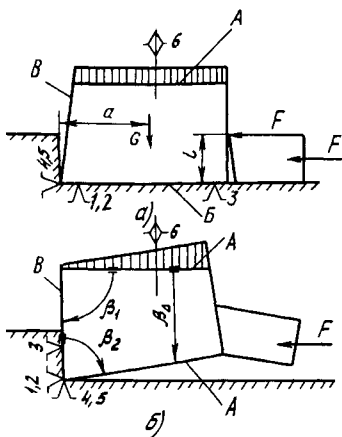


Рис. 6.28. Смена баз у заготовки при закреплении ее в тисках

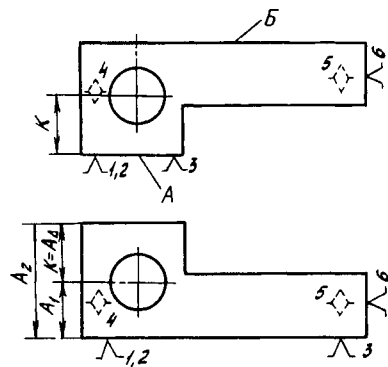


Рис. 6.29. Дополнительные размерные связи при несовпадении технологической базы с поверхностью, от которой задан размер детали

малыми размерами поверхностей, от которых заданы размеры, и, следовательно, значительными погрешностями установки заготовки по этим поверхностям;

техническими трудностями в реализации желаемой схемы базирования заготовки;

большей экономичностью получения размеров.

Всякое несовпадение технологических баз с поверхностями, от которых заданы размеры, всегда сопровождается в технологическом процессе возникновением дополнительных размерных связей.

Например, в процессе изготовления детали, показанной на рис. 6.29, требуется расточить отверстие и обеспечить точность расстояния K , между осью отверстия и поверхностью A заготовки. Прямым путем это требование будет выполнено, если в качестве технологической установочной базы использовать поверхность A . Однако малые габаритные размеры этой поверхности могут быть причиной значительной погрешности установки заготовки. Очевидно, что меньшим значение погрешности установки будет при использовании в качестве установочной базы поверхности B . Но тогда размер K будет получаться как замыкающее звено A_{Δ} размерной цепи A , в которой A_1 — размер, непосредственно выдерживаемый от технологической установочной базы при растачивании отверстия, а A_2 — размер, полученный на предшествующей операции при обработке поверхности A с установкой заготовки на поверхность B .

Для того чтобы получить $K = A_{\Delta}$ с требуемой точностью, необходимо установить допуски на отклонения звеньев, составляющих размерную цепь A , исходя из величин $T_{A_{\Delta}}$ и $\Delta_{0A_{\Delta}}$ и в соответствии с уравнениями:

$$T_{A_{\Delta}} = T_{A_1} + T_{A_2};$$

$$\Delta_{0A_{\Delta}} = -\Delta_{0A_1} + \Delta_{0A_2}.$$

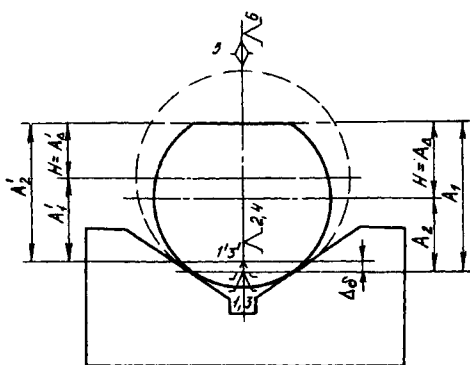
Таким образом, технологические базы могут быть не совмещены с поверхностями, от которых задан размер, но при этом по каждому выдерживаемому размеру необходимо сделать следующее.

1. Установить размерную связь между поверхностью детали, от которой задан размер, и поверхностью, используемой в качестве технологической базы, а также связь между обрабатываемой поверхностью и отвергнутой технологической базой.

2. Установить поля и координаты середин полей допусков на звенья возникшей размерной цепи, исходя из допуска на выдерживаемый размер.

Усложнение размерных связей в результате несовмещения баз приводит к дополнительной погрешности выдерживаемого размера. В технической и учебной литературе нередко ее называют погрешностью базирования, что в принципе не верно. Согласно определению, данному в ГОСТ 21495—76, погрешность базирования — есть отклонение фактически достигнутого при базировании положения заготовки от требуемого. Причины ее возникновения рассмотрены выше.

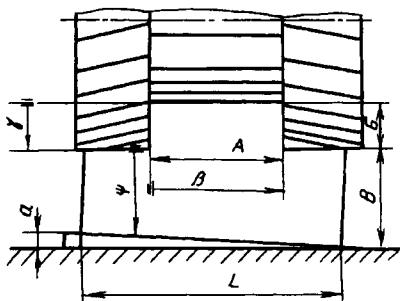
На рис. 6.30 дан пример, поясняющий различие между погрешностью базирования и погрешностью, вызванной несовмещением баз. У вала фрезеруют лыску и выдерживают расстояние H между поверхностью лыски и осью поверхности вала, по которой заготовка установлена на призме.



Не учитывая того, что поверхности заготовок и призмы наделены отклонениями формы, заготовки будут контактировать с призмой в

Рис. 6.30. Погрешность базирования заготовки и несовмещение технологической базы с осью заготовки, от которой задан размер H

Рис. 6.31. Полное соблюдение принципа единства баз при получении размеров A , B , β и γ



разных точках из-за отклонений их диаметрального размера. По этой причине положение заготовок будет отклоняться от требуемого на погрешность Δ_b базирования, что отразится на значениях A_Δ и A'_Δ выдерживаемого размера H .

При базировании заготовок на призме размер H будет получаться не непосредственно от оси цилиндрической поверхности, а как замыкающее звено размерной цепи. Ее составляющими звеньями являются размер A_1 , получаемый от базы, и размер A_2 , учитывающий погрешность установки заготовки, в том числе и погрешность ее базирования. Таким образом, погрешность размера H будет являться результатом несовмещения баз, а погрешность базирования — одной из ее составляющих.

Принцип единства баз. Так как каждая смена баз сопровождается появлением добавочных погрешностей на выдерживаемых размерах детали, то необходимо стремиться к тому, чтобы все поверхности заготовки обрабатывать от одних и тех же технологических баз. Другими словами, для достижения более высокой точности детали следует использовать принцип единства технологических баз.

В полной мере принцип единства баз соблюдается при обработке заготовки с одной установки. При этом полностью исключается влияние погрешности установки заготовки на точность линейных и угловых размеров, находящихся вне связи с технологическими базами. Например, при обработке заготовки набором фрез (рис. 6.31) точность размеров A , B , β и γ не будет зависеть от погрешности установки заготовки. Однако избежать влияния погрешности установки заготовки на размеры, получаемые непосредственно от технологических баз, например, на размеры B и ψ , не удастся.

Несмотря на некоторую ограниченность возможностей принципа единства технологических баз, его широко применяют на практике. Строя технологический процесс изготовления детали, обычно на первых операциях стремятся обработать те поверхности заготовки, которые в дальнейшем можно использовать как технологические базы. Весь дальнейший процесс обработки заготовки или его значительную часть ведут, базируя заготовку на эти поверхности.

Для наиболее полного использования принципа единства технологических баз необходимо не только использовать на различных операциях в качестве технологических баз одни и те же поверхности заготовки, но и, что не менее важно, одни и те же участки поверхностей. Для этого все базирующие элементы приспособлений должны быть расположены по единой схеме, на одинаковых расстояниях и быть одинакового размера.

Однако даже при соблюдении этих условий при каждой новой установке заготовки в действительности происходит смена баз из-за множества случайных событий, сопутствующих процессу установки. Особо значимой погрешностью установки заготовки, вызываемая действительной сменой баз, была бы в случае, если заготовку повторно устанавливали на необработанные поверхности. Поэтому базирование заготовки по необработанным поверхностям допустимо только на первой операции при подготовке технологических баз. По мере повышения точности формы, относительного поворота и снижения значений параметров шероховатости поверхностей, используемых при выполнении большинства операций в качестве технологических баз, погрешность установки на них заготовки уменьшается. В большинстве случаев значимость этой погрешности теряется, хотя при получении особо точных размеров ею нельзя пренебрегать. Практически же под сменой баз понимают переход при базировании от одних поверхностей заготовки к другим.

Преимущества принципа единства технологических баз всегда побуждали вести изготовление детали с одной установки заготовки. Отражением этого стремления можно считать универсальные станки, наделяемые широкими технологическими возможностями, и всевозможные дополнительные устройства, расширяющие их. Одной из причин появления многооперационных станков типа "обрабатывающий центр" было стремление к обработке заготовок сложных деталей с одной установки. Многооперационные станки, на которых можно обрабатывать заготовки с разных сторон и разными способами, не только уменьшают влияние погрешности установки заготовок на точность деталей, но и дают экономию в затратах времени на выполнение технологического процесса за счет сокращения числа установок.

Три метода получения и измерения линейных и угловых размеров деталей. При изготовлении и измерении деталей используют три метода получения и измерения линейных и угловых размеров: цепной, координатный и комбинированный.

Сушность *цепного метода* заключается в том, что каждый последующий размер, расстояние или относительный поворот поверхности получают или измеряют после заранее полученного или измеренного.

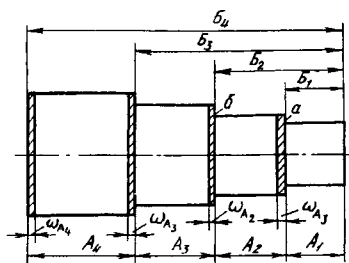


Рис. 6.32. Получение размеров A_i цепным методом и образование координатных размеров B_j

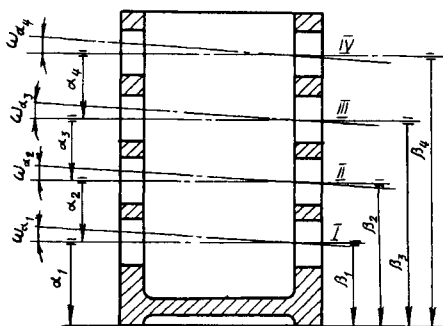


Рис. 6.33. Получение размеров α_k цепным методом и образование координатных размеров β_m

При этом в качестве одной из технологических или измерительных баз используют связывающую их общую поверхность.

Таким образом, получение (измерение) каждого последующего размера сопровождается переносом технологической (измерительной) базы на поверхность, связывающую получаемый (измеряемый) размер с размером, полученным (измеренным) ранее.

На рис. 6.32 показан ступенчатый вал, у которого размеры A_1 — A_4 получали последовательно с переносом опорной технологической базы из ранее полученную поверхность. Например, размер A_2 получали при базировании вала по поверхности a , размер A_3 при базировании по поверхности b и т.д.

Аналогичные действия предпринимали и при обработке отверстий в корпусной детали, показанной на рис. 6.33. Отверстия с осью II обрабатывали с использованием в качестве одной из технологических баз отверстий с осью I , отверстия с осью III обрабатывали при базировании заготовки по отверстиям с осью II и т.д.

Использование всякий раз в качестве одной из технологических баз поверхностей, от которых заданы цепные размеры, делает независимыми отклонения этих размеров от отклонений других цепных размеров. Действительно погрешности ω_{A_1} — ω_{A_4} размеров вала независимы друг от друга. То же можно сказать и о погрешностях ω_{α_1} — ω_{α_4} относительного поворота осей отверстий в корпусной детали.

Независимость погрешности, получаемой на каждом из цепных размеров, от погрешностей других цепных размеров является первой особенностью и основным преимуществом цепного метода. В той же мере это положение касается и погрешностей измерений, производимых цепным методом.

В отличие от этого погрешности координатных размеров, т.е. размеров, заданных от одной поверхности, зависят от погрешностей размеров, полученных цепным методом и образующих координатный размер. Например, координатный размер B (см. рис. 6.32) образован цепными звеньями A_1 и A_2 и представляет собой замыкающее звено размерной цепи

$$B_2 = A_1 + A_2, \text{ поэтому } \omega_{B_2} = \omega_{A_1} + \omega_{A_2}.$$

Координатный размер B_3 является замыкающим звеном размерной цепи

$$B_3 = A_1 + A_2 + A_3 \text{ и } \omega_{B_3} = \omega_{A_1} + \omega_{A_2} + \omega_{A_3} \text{ и т.д.}$$

Той же закономерности будет подчинено образование погрешностей координатных угловых размеров — поворотов осей II, III и IV отверстий в корпусной детали относительно плоскости ее основания (см. рис. 6.33). Например,

$$\beta_4 = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4$$

и

$$\omega_{\beta_4} = \omega_{\alpha_1} + \omega_{\alpha_2} + \omega_{\alpha_3} + \omega_{\alpha_4}.$$

Из рассмотренного видно, что погрешность каждого координатного размера при цепном методе получения размеров является суммой погрешностей цепных размеров, образующих координатный размер. При этом погрешности координатных размеров возрастают по мере увеличения числа цепных размеров, составляющих координатный размер. В этом состоит вторая особенность цепного метода получения и измерения размеров деталей.

Сущность *координатного метода* заключается в том, что все линейные и угловые размеры детали получают и измеряют от одной и той же поверхности, используемой в качестве одной из баз.

Независимое получение и измерение координатных размеров делает независимыми и их отклонения. Точность координатных размеров определяется условиями выполнения операций или переходов, на которых образуются координатные размеры.

На рис. 6.34 показан вал и координатные размеры $B_1 - B_5$, каждый из которых имеет свою независимую от других, погрешность. Независимыми окажутся и отклонения от параллельности осей отверстий в корпусной детали относительно плоскости ее основания

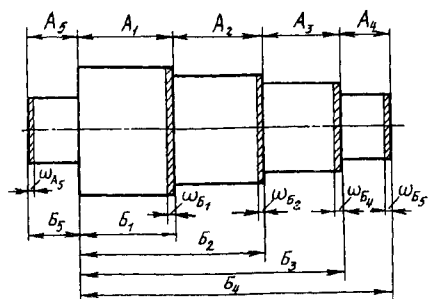


Рис. 6.34. Получение размеров B_i координатным методом и образование цепных размеров A_i

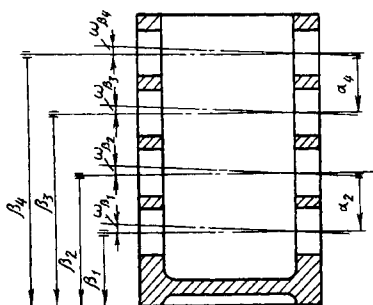


Рис. 6.35. Получение размеров β_m координатным методом и образование цепных размеров α_k

(рис. 6.35), используемой при обработке отверстий в качестве технологической установочной базы.

Независимость погрешностей каждого из координатных размеров от погрешностей других координатных размеров является первой особенностью и преимуществом данного метода.

При получении размеров детали координатным методом каждый ее цепной размер будет образован двумя координатными звеньями. Например, цепной размер A_2 (см. рис. 6.34) будет являться замыкающим звеном трехзвенной размерной цепи, составляющими звеньями которой окажутся координатные размеры B_1 и B_2 :

$$A_2 = -B_1 + B_2.$$

Так же будут образовываться и другие цепные размеры детали:

$$A_3 = -B_2 + B_3; \quad A_4 = -B_3 + B_4.$$

В соответствии с этим погрешность любого цепного размера не будет превышать суммы погрешностей двух координатных размеров, образующих цепной размер:

$$\omega_{A_2} = \omega_{B_1} + \omega_{B_2}; \quad \dots; \quad \omega_{A_4} = \omega_{B_3} + \omega_{B_4}.$$

Аналогичное положение будет и на цепных угловых размерах (см. рис. 6.35). Например, относительные параллельности осей отверстий II и I, IV и III можно определить как замыкающие звенья размерных цепей:

$$\alpha_2 = \beta_1 + \beta_2; \quad \alpha_4 = \beta_3 + \beta_4.$$

Соответственно погрешности цепных размеров α_2 и α_4

$$\omega_{\alpha_2} = \omega_{\beta_1} + \omega_{\beta_2}; \quad \omega_{\alpha_4} = \omega_{\beta_3} + \omega_{\beta_4}.$$

Таким образом, при координатном методе получения размеров погрешность каждого цепного размера равна сумме погрешностей двух координатных размеров, образующих цепной размер. Эта особенность является вторым преимуществом координатного метода в сравнении с цепным. Нетрудно видеть, что координатный метод является воплощением принципа единства технологических баз.

Из сопоставления двух методов получения и измерения линейных и угловых размеров следует, что большими преимуществами обладает координатный метод. Наибольшая погрешность, получаемая при координатном методе на цепных размерах, не превышает суммы погрешностей двух координатных размеров, в то время как погрешность на координатных размерах, полученных цепным методом, возрастает с увеличением числа цепных размеров, составляющих координатный размер.

При разных методах по-разному проявляется влияние на точность выдерживаемых размеров погрешности установки заготовки. При координатном методе получения размеров погрешность установки заготовки будет общей для всех координатных размеров. Что касается цепных размеров, то, поскольку каждый цепной размер является разностью двух координатных размеров, влияние погрешности установки на точность цепных размеров полностью исключается.

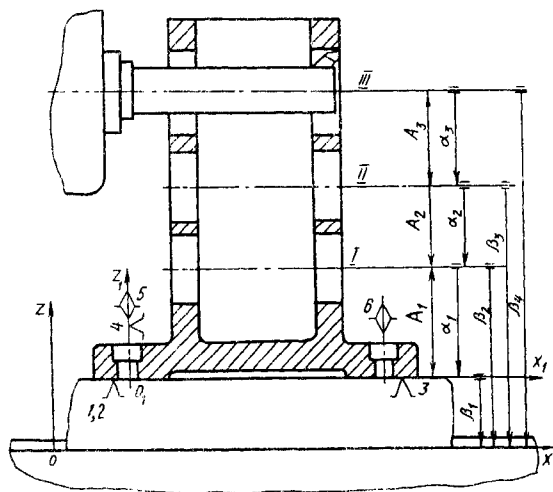
При цепном методе получения размеров каждая смена баз и новая установка заготовки сопровождается своей погрешностью установки, являющейся одним из слагаемых погрешности цепного размера. Так как каждый координатный размер составляет ряд цепных размеров, то его погрешность будет включать в себя погрешности установок заготовки при получении цепных размеров.

Вследствие явных преимуществ координатный метод получил большее распространение в практике машиностроения.

Сущность *комбинированного метода* заключается в том, что при изготовлении деталей для получения одних размеров используют координатный метод, а для получения других — цепной.

Примером одновременного применения двух методов может служить растачивание отверстий в корпусной детали (рис. 6.36). Цепные размеры A_1 , A_2 и A_3 при обработке отверстий на расточном станке могут быть получены цепным методом. Для этого станок должен быть сначала настроен на получение первого отверстия на расстоянии A_1 от технологической установочной базы заготовки. При настройке станка на обработку второго отверстия начало отсчета

Рис. 6.36. Применение
комбинированного метода
получения размеров



должно быть перенесено на ось первого отверстия и т.д. Что касается цепных размеров α_1 , α_2 и α_3 , то они могут быть получены только как замыкающие звенья через координатные размеры β_1 , β_2 , β_3 и β_4 . Конструкция расточного станка допускает получение угловых размеров лишь в системе $OXYZ$ станка.

При изготовлении деталей и получении угловых (относительная параллельность, перпендикулярность поверхностей) и линейных размеров преимущественно используют координатный метод.

Цепной метод применяют для получения особо точных размеров при условии, что погрешность установки заготовки при этом будет невелика. Размеры деталей в большинстве случаев также измеряют с использованием цепного метода.

Четыре типа получаемых размеров. В зависимости от отношения к базированию заготовки все размеры, получаемые в процессе изготовления детали, можно подразделить на четыре типа.

К первому типу относят размеры, получение которых не связано непосредственно с базированием и установкой заготовки.

Второй тип составляют размеры, получаемые от технологических баз заготовки.

К третьему типу относят размеры, получаемые через два размера, выдерживаемых от одной и той же технологической базы заготовки.

Четвертый тип составляют размеры, получение которых сопровождается сменой технологических баз.

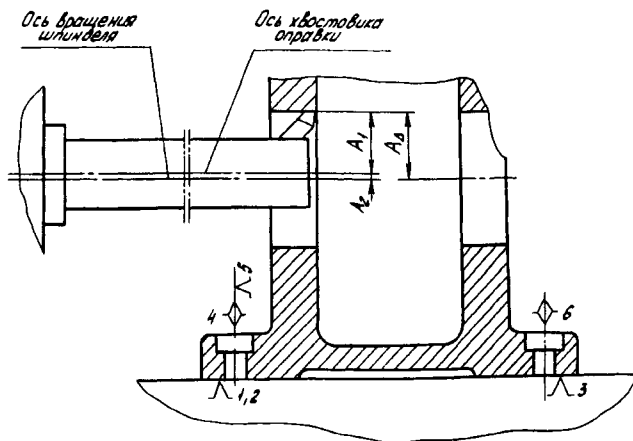


Рис. 6.37. Размер первого типа, получение которого не связано с базированием заготовки

Формирование погрешностей при получении размеров каждого типа идет по своим каналам.

Примером размера первого типа может быть диаметральный размер отверстия в корпусной детали, получаемый в результате растачивания отверстия на расточном станке (рис. 6.37). Радиус выдерживаемого размера в технологической системе является замыкающим звеном размерной цепи

$$A_{\Delta} = A_1 + A_2,$$

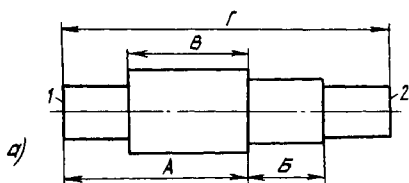
где A_1 — вылет реза относительно оси конического хвостовика оправки; A_2 — несовпадение оси конического хвостовика оправки с осью вращения шпинделя.

Схема размерной цепи A показывает, что размер A_{Δ} получается вне связи с базированием заготовки, поэтому погрешность установки заготовки не окажет прямого воздействия на точность размера A_{Δ} .

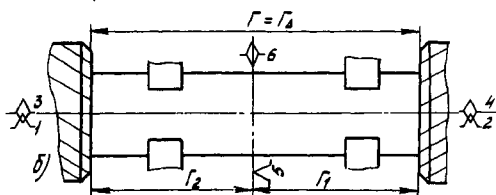
Особенности формирования отклонений размеров второго — четвертого типов покажем на примере вала (рис. 6.38, а). Размеры A , B , B и Γ — проставлены на чертеже вала в соответствии с его служебным назначением.

Технологический процесс изготовления вала: операция I — подрезка торцов и зацентровка заготовки из прутка на фрезерно-центровальном станке (рис. 6.38, б); заготовка базируется двумя парами одновременно сходящихся призм; операция II — обработка заготовки

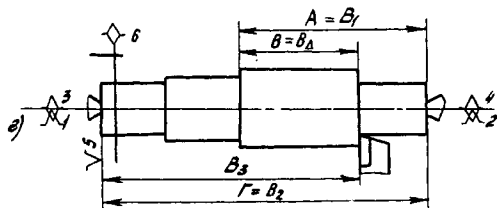
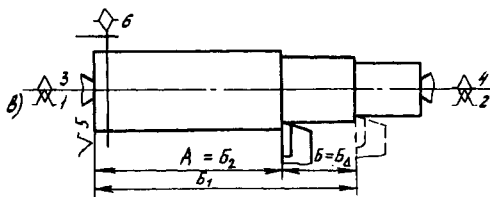
Рис. 6.38. Размеры второго (А), третьего (В) и четвертого (В) типов, получение которых по-разному связано с базированием заготовки в процессе обработки



вала с одного конца на токарном станке (рис. 6.38, в); операция III — обработка на токарном станке заготовки с другого конца (рис. 6.38, г). При токарной обработке заготовку базируют центрами и хомутиком с поводком.



На операции I в результате подрезки торцов заготовки образуется размер Γ . На операции II получают размеры A и B . Причем размер A получается непосредственно от технологической опорной базы, которую дает коническая поверхность центрального отверстия. В частном случае опорная точка 5 может находиться на пересечении конической и плоской поверхности торца. Размер же B образуют размеры B_1 и $B_2 = A$, выдерживаемые оба от одной базы, поэтому размер B следует рассматривать как замыкающее звено B_{Δ} размерной цепи



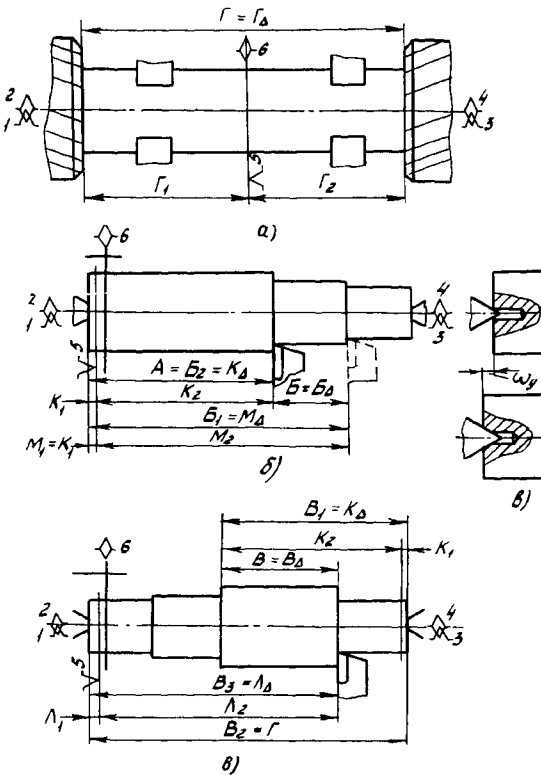
$$B_{\Delta} = B_1 - B_2 = B_1 - A.$$

Размер B получают на операции III при опорной базе заготовки на поверхности ее центрального отверстия со стороны торца 2. Размер B образуется как замыкающее звено B_{Δ} размерной цепи

$$B_{\Delta} = B_1 - B_2 + B_3,$$

где $B_1 = A = B_2$ — размер, полученный на предшествующей операции; $B_2 = \Gamma$ — длина заготовки, определенная при подрезке торцов на

Рис. 6.39. Технологические размерные цепи, раскрывающие происхождение отклонений размеров A , B , B и Γ



операции I; B_3 — размер, выдерживаемый непосредственно от опорной базы на операции III.

То же уравнение, но при другом обозначении аргументов:

$$B_{\Delta} = A - \Gamma + B_3.$$

Проанализируем происхождение отклонений на размерах A , B , B и Γ при осуществлении операций технологического процесса изготовления вала.

Отклонение размера Γ представляет собой сумму отклонений размеров Γ_1 и Γ_2 (рис. 6.39, а). Так как оба размера в процессе обработки заготовки выдерживают от одной и той же технологической опорной базы, то погрешность установки заготовки не повлияет на их точность, а следовательно, и на точность размера Γ_{Δ} .

Точность размера A , получаемого на операции II, достигается через размерную цепь K технологической системы (рис. 6.39, б), в которой A является замыкающим звеном K_{Δ} , а K_1 и K_2 — ее составляющие звенья:

$$A = K_{\Delta} = K_1 + K_2.$$

Погрешность установки ω_y заготовки, одной из причин которой может быть отклонение глубины центрального отверстия (рис. 6.39, в), будет одной из составляющих погрешности звена K_1 . В процессе обработки заготовки погрешность установки дополняют отклонения, вызванные динамическими явлениями. На звене K_2 проявятся отклонения статической и динамической настройки технологической системы.

Размер B , получаемый как разность размеров B_1 и $B_2 = K_{\Delta} = A$ (рис. 6.39, б), может быть представлен уравнением:

$$\begin{aligned} B = B_{\Delta} = B_1 - B_2 = M_{\Delta} - K_{\Delta} &= (M_1 + M_2) - (K_1 + K_2) = \\ &= M_1 + M_2 - K_1 - K_2, \end{aligned}$$

где M_{Δ} , M_1 , M_2 — соответственно замыкающее и составляющие звенья размерной цепи технологической системы, с помощью которой образуется размер B_1 .

Происхождение отклонений на звеньях этой размерной цепи аналогично тому, что и на звеньях размерной цепи K .

Так как получение размеров K_{Δ} и M_{Δ} идет от одной и той же базы, то $M_1 = K_1$ и, следовательно,

$$B_{\Delta} = M_2 - K_2.$$

Значит, в двух параллельно связанных размерных цепях отклонения общих звеньев K_1 и M_1 , возникающие при установке заготовки и в динамике процесса обработки, не будут оказывать влияния на точность размера B_{Δ} , т.е. размера B . Очевидно, что точность цепного размера B , получаемого через два координатных размера B_1 и B_2 , будет выше, чем точность каждого из них в отдельности.

Наиболее сложным оказывается формирование отклонений на размерах четвертого типа, получение которых идет со сменой технологических баз. Таковым в рассматриваемом примере является размер B .

Согласно уравнению, приведенному выше, размер B образуют два размера, получаемых каждый от своей базы, и длина заготовки.

Вскрыв технологические размерные цепи, имеющие отношение к получению размера B , будем иметь:

$$\begin{aligned} B &= B_{\Delta} = B_1 - B_2 + B_3 = K_{\Delta} - \Gamma_{\Delta} + L_{\Delta} = \\ &= (K_1 + K_2) - (\Gamma_1 + \Gamma_2) + (L_1 + L_2) = \\ &= K_1 + K_2 - \Gamma_1 - \Gamma_2 + L_1 + L_2. \end{aligned}$$

Отклонения размеров K_1 и L_1 слагаются из погрешностей установок заготовки, дополняемых отклонениями динамического характера. Отклонения размеров K_2 , Γ_1 , Γ_2 и L_2 образуют погрешности статической и динамической настройки технологических систем.

Принадлежность размеров к тому или иному типу зависит не от того, как они проставлены на чертеже детали, а от способа их получения в технологическом процессе. Поэтому, строя технологический процесс, технолог должен находить решения, обеспечивающие наиболее благоприятные размерные связи, формирующие размеры изготавливаемой детали.

Получению размеров большей точности способствуют следующие мероприятия.

1. Доведение до минимума смен технологических баз в процессе изготовления детали.

2. Ограничение допусками отклонений звеньев технологических размерных цепей и изыскание технических средств, обеспечивающих соблюдение установленных допусков. Например, уменьшение погрешности установки заготовки на операциях II и III в рассмотренном выше примере даст применение поводкового патрона с утапливающимся центром и неподвижным упором для базирования непосредственно по ее торцу (рис. 6.40). Такой патрон хотя и не исключит полностью, но уменьшит погрешность установки заготовки в направлении опорной базы.

3. Устранение в технологических процессах изготовления деталей смен баз, сопровождающихся возникновением размеров четвертого

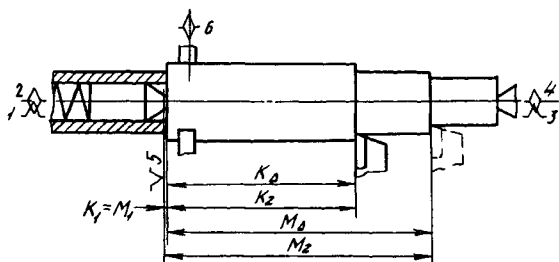
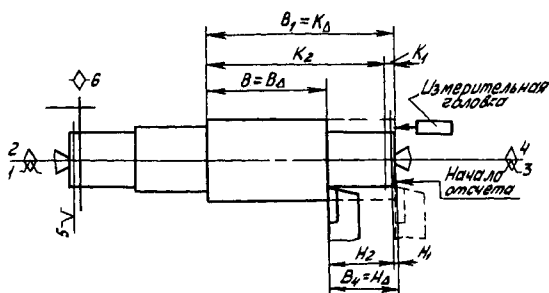


Рис. 6.40. Уменьшение погрешности установки заготовки в осевом направлении

Рис. 6.41. Уменьшение погрешности, вызываемой сменой технологических баз



типа. Например, при обработке заготовки вала размер B может быть получен при более простых размерных связях, если на операции III начало отсчета получаемых размеров перенести на правый торец заготовки. Тогда получение размера B будет идти в соответствии с размерными связями, показанными на рис. 6.41:

$$B = B_{\Delta} = B_1 - B_4 = K_{\Delta} - H_{\Delta} = (K_1 + K_2) - (H_1 + H_2) = K_1 + K_2 - H_1 - H_2,$$

где H_1 — звено размерной цепи, учитывающее погрешность реализации нового начала отсчета; H_2 — размер, непосредственно получаемый в процессе обработки заготовки.

Как видно из уравнения, перенос начала отсчета исключил влияние на точность размера B отклонения длины заготовки вала, которое может быть весьма существенным. В то же время появилось звено H_1 , точность которого будет зависеть от средств, используемых при создании нового начала отсчета.

Простейшим способом переноса начала отсчета в данном примере являлся бы отсчет рабочего хода инструмента с момента его касания правого торца заготовки, к чему часто прибегают рабочие, работающие на универсальных станках. Перенос начала отсчета автоматическим путем осуществляется легко на станках с программным управлением, имеющих измерительные головки.

В построении рациональных размерных связей в технологическом процессе изготовления детали технолог располагает широкими возможностями. Чтобы воспользоваться ими, необходимо понимать механику формирования размерных связей и знать способы воздействия на них.

Проявление погрешности установки в ходе технологического процесса изготовления деталей. Состояние технологического процесса в смысле достижения точности изготавливаемых деталей характеризуют мгновенное поле рассеяния ω_i и положение центра группирова-

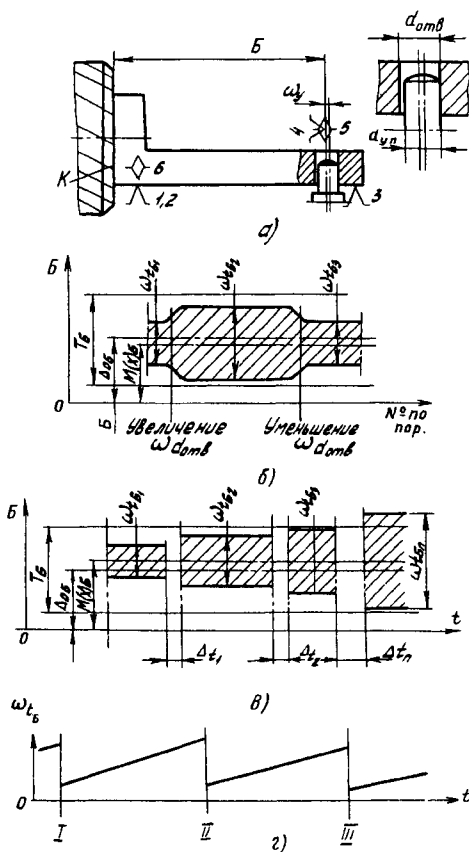


Рис. 6.42. Проявление погрешности установки в ходе технологического процесса изготовления деталей: I—III — замена пальца

ния $M(x)_t$ значений размеров деталей. Значение ω_t определяется совокупным действием случайных факторов, значение $M(x)_t$ — действием систематических факторов.

Погрешность установки заготовки порождается, как об этом уже было сказано, многими причинами, поэтому найти что-либо общее во влиянии погрешности установки на точность технологического процесса весьма затруднительно. В каждом конкретном случае ее проявление индивидуально и своеобразно. Однако в подавляющем большинстве случаев погрешность установки заготовки будет проявляться как случайная величина.

В качестве примера рассмотрим операцию фрезерования стойки у детали, показанной на рис. 6.42, а. Задачей операции является получение расстояния B между поверхностью K и осью отверстия в детали. Поскольку расстояние B задано от оси отверстия, оно и использовано в качестве двойной опорной базы. Заготовку устанавливают по отверстию на установочный палец.

В данном случае погрешностью установки ω_y заготовки в направлении выдерживаемого размера будет являться величина несовпадения оси отверстия в заготовке с осью базирующей поверхности установочного пальца, зависящая от зазора между ними. Зазор зависит от диаметра отверстия $d_{отв}$ и диаметра $d_{y.п}$ установочного пальца, который по мере изнашивания будет уменьшаться. Таким образом,

$$\omega_y = f(d_{отв}, d_{y.п}, \Delta_{изн.у.п}).$$

Диаметры отверстий, обрабатываемых на предшествующей операции, рассеиваются, и от их поля рассеяния будет зависеть и значение ω_{t_B} мгновенного поля рассеяния размера B . Потеря точности диаметрального размера отверстия вызывает расширение мгновенного поля рассеяния размера B , что подтверждает точечная диаграмма, приведенная на рис. 6.42, б. Уменьшение $\omega_{d_{отв}}$ сопровождается улучшением точности размера B .

Проявление на точечной диаграмме изнашивания установочного пальца растянуто во времени. Если строить точечную диаграмму через интервалы времени $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$, длительность которых могут составлять смены, сутки, недели, можно наблюдать постепенное увеличение значений ω_{t_B} вследствие изнашивания установочного пальца. По достижении ω_{t_B} критического значения ($\omega_{t_B} = T_B$) установочный палец в приспособлении должен быть заменен. С установкой нового пальца значение ω_{t_B} уменьшается и снова начинает расти по мере его изнашивания. Характер изменения значений ω_{t_B} во времени отображает график на рис. 6.42, г.

Попутно отметим, что в массовом производстве изнашивание установочных пальцев в приспособлениях протекает довольно интенсивно, а частая их замена сопряжена с немалыми трудностями. Даже незначительное число замен опорных пальцев приводит к разбивке отверстия в приспособлении, в которое они запрессованы. Установка пальца в каленую переходную втулку улучшает положение не надолго, так как во втулках отверстия под палец также изнашиваются, а при замене втулок разбивается отверстие и в приспособлении. Все это приводит к изготовлению установочных пальцев и переходных втулок по месту, что сильно осложняет в массовом производстве поддержание приспособлений в работоспособном состоянии. По этой причине базирование заготовок по отверстиям с установкой на пальцы далеко не всегда надежно обеспечивает требуемую точность изготавливаемых деталей.

Одной из причин увеличения погрешности установки заготовки является попадание стружки и грязи между поверхностями технологических баз заготовки и поверхностями станка или приспособления, базирующими ее. Поэтому своевременному удалению стружки и очистке этих поверхностей следует уделять должное внимание.

Настройка и поднастройка технологической системы

Теоретические положения. Часть статической настройки технологической системы, выполняемая перед обработкой заготовок деталей данного наименования, имеет цель придать режущему инструменту положение относительно исполнительных поверхностей станка или приспособления, обеспечивающее получение с требуемой точностью размеров детали или партии деталей.

Для настройки технологической системы прежде всего необходимо знать рабочий настроечный размер A_p , под которым понимают размер, к получению которого необходимо стремиться при настройке.

При настройке технологической системы на обработку одной заготовки и получение единственной детали рабочим настроечным может быть избран размер, находящийся в границах поля допуска, например A_{cp} :

$$A_p = A_{cp} = 0,5 (A^{\min} + A^{\max}).$$

Чтобы избежать брака, рабочий старается при изготовлении детали придерживаться безопасной границы поля допуска, смещая рабочий настроечный размер в ее сторону.

Если при настройке режущие кромки инструмента расположить на расстоянии A_p относительно технологической базы заготовки, то размер, полученный в результате ее обработки, будет отличаться от A_p на величину размера динамической настройки A_d системы. Поэтому размер A_c статической настройки технологической системы

$$A_c = A_p - A_d \quad \text{или} \quad A_c = A_p + A_d$$

в зависимости от знака A_d (рис. 6.43).

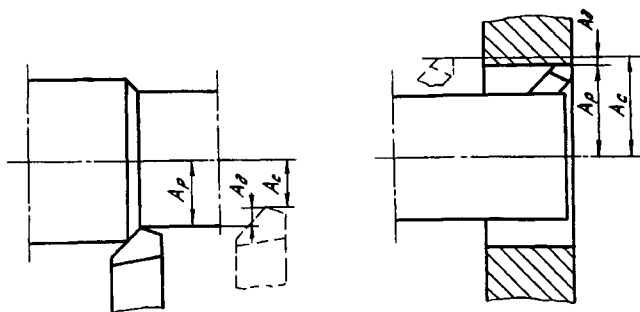


Рис. 6.43. Определение размера статической настройки технологической системы

Трудность настройки технологической системы заключается в том, что рабочему или наладчику, производящему настройку, наперед неизвестно отклонение Δ_d размера A_d динамической настройки, поскольку оно является случайной величиной. Лицу, выполняющему настройку, приходится предпринимать несколько попыток, чтобы приблизиться к размеру A_p .

Настройку технологической системы начинают, придав инструменту положение, при котором риск получить бракованную деталь сводится к нулю. Обработав небольшой участок поверхности заготовки и измерив полученный размер, наладчик корректирует положение инструмента и делает новый ход. Те же действия повторяются, пока не будет получен размер, близкий к значению A_p . После этого обрабатывают заготовку на необходимую длину.

Такой способ настройки технологической системы получил название *пробных ходов*. По широте применения его можно считать основным способом.

Задача настройки технологической системы для обработки партии заготовок заключается в придании такого положения мгновенному полю рассеяния ω_t размеров относительно границ поля допуска T , при котором можно было бы получить возможно большее число годных деталей до поднастройки системы. Для правильного решения этой задачи рабочий настроечный размер A_p должен быть определен с учетом точностных особенностей данной технологической системы и тенденций в изменении точности во времени. Для определения размера A_p необходимо знать: мгновенное поле рассеяния ω_t размеров; характер совокупного воздействия систематических факторов на положение центра группирования $M(x)$ размеров и его смещения во времени. Данные об этом могут быть получены в результате наблюдений за состоянием точности процесса изготовления деталей в предшествующие периоды работы.

Если степень влияния систематических факторов, смещающих $M(x)$ в сторону нижней и верхней границ поля допуска, примерно равноценна, то рабочим настроечным размером следует избирать средний размер A_{cp} и при настройке стремиться к совмещению $M(x)$ с серединой поля допуска (рис. 6.44, а).

Если в процессе обработки заготовок размерный износ режущего инструмента доминирует над действием других систематических факторов, то при выдерживании охватываемых размеров нижняя граница мгновенного поля рассеяния в момент настройки должна быть совмещена с нижней границей поля допуска (рис. 6.44, б) и

$$A_p = A^{\min} + 0,5\omega_t.$$

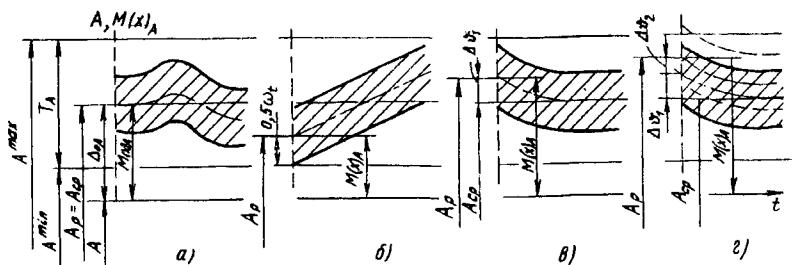


Рис. 6.44. Определение рабочего настроечного размера A_p для настройки на обработку партии заготовок

При выдерживании охватываемых размеров

$$A_p = A^{\max} - 0,5\omega_t.$$

Когда доминирующими являются тепловые деформации технологической системы, смещающие $M(x)$ при выдерживании охватывающих размеров на величину Δ_{θ_1} к нижней границе поля допуска, рабочий настроечный размер при настройке неразогретого станка (рис. 6.44, в)

$$A_p = A_{cp} + \Delta_{\theta_1}.$$

При выдерживании охватывающих размеров

$$A_p = A_{cp} - \Delta_{\theta_1}.$$

Если при этом настройка будет вестись по заготовкам, нагретым предшествующей обработкой выше температуры воздуха в цехе, то необходимо учесть тепловую усадку деталей после их изготовления введением в размер A_p поправки Δ_{θ_2} (рис. 6.44, г). При выдерживании охватывающих размеров станок следует настраивать на размер

$$A_p = A_{cp} + \Delta_{\theta_1} + \Delta_{\theta_2}.$$

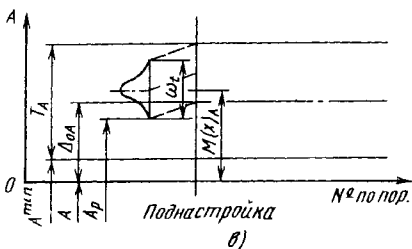
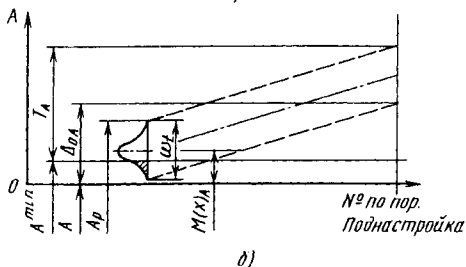
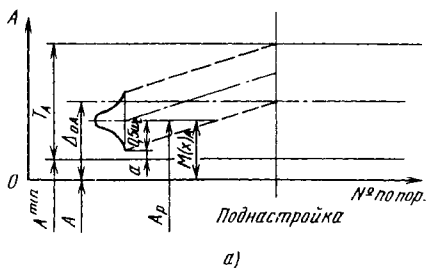
Целью настройки технологической системы для изготовления партии деталей является совмещение центра группирования $M(x)$ с рабочим настроечным размером A_p . Погрешностью настройки Δ_H технологической системы для изготовления партии деталей следует

Рис. 6.45. Достижение цели настройки (а) и возможное положение $M(x)_A$ относительно A_p , если судить о нем по размеру одной изготовленной детали (б, в)

считать отклонение $M(x)$ от A_p , оказавшееся по завершении настройки.

Для совмещения $M(x)$ с A_p необходимо иметь представление о местоположении $M(x)$. Как выявить положение $M(x)$, занимаемое им в данный момент времени?

Пусть задачу настройки станка составляет придание мгновенному полю рассеяния ω_t размеров, подчиненного нормальному закону, положения относительно границ поля допуска, показанного на рис. 6.45, а. В предвидении того, что размерный износ инструмента будет доминировать над действием других систематических факторов, рабочий настроечный размер



$$A_p = A^{\min} + a + 0,5\omega_t,$$

где A^{\min} — наименьший предельный размер; a — часть поля допуска, выделенная на случай возникновения погрешности настройки Δ_H станка.

Предположим, что используя метод пробных ходов, наладчик получил первую деталь с размером, близким к A_p . Можно ли при этом считать, что $M(x)$ будет совпадать со значением полученного размера? Так как полученный размер является случайной величиной и с равной вероятностью его значение может оказаться одним из крайних в мгновенном поле рассеяния ω_t , то не будут исключены два случая расположения ω_t относительно границ допуска T . В первом случае, если размер имеет максимальное значение из возможных, ω_t

может переступить нижнюю границу поля допуска и при такой настройке будет неизбежным получение брака (рис. 6.45, б). Если же размер детали оказался минимальным, то ω_t займет положение, при котором сократится запас поля допуска, в пределах которого допустимо смещение ω_t , вызываемое изнашиванием режущего инструмента (рис. 6.45, в). В этом случае сократится интервал времени между настройкой и поднастройкой станка.

Следовательно, судить о положении центра группирования $M(x)$ по размеру одной изготовленной детали нельзя. Однако представление о положении $M(x)$ с той или иной степенью достоверности дает групповой средний размер $A_{гр.ср}$, найденный как средний размер в группе деталей, изготовленных при неизменной настройке станка. Возможность определения $M(x)$ таким путем предоставляет теория вероятностей и соотношение характеристик рассеяния совокупности случайных величин и средних значений групп величин, на которые разбита эта совокупность (см. п. 1.4). Согласно этой зависимости

$$\sigma_{гр.ср} = \sigma_t / \sqrt{n},$$

где $\sigma_{гр.ср}$ — среднее квадратическое отклонение групповых средних величин; σ_t — среднее квадратическое отклонение случайных значений размера A , возможных в пределах $\omega_t = 6\sigma_t$; n — число деталей, составляющих группу.

Так как судить о положении $M(x)$ по размеру $A_{гр.ср}$ можно лишь с некоторым приближением, правомерна постановка следующей задачи. Если при настройке технологической системы будет изготовлена группа деталей и определено среднее значение размера A , то какова вероятность того или иного отклонения $M(x)$ от $A_{гр.ср}$ в момент настройки?

Предположим, что настройку ведут при рабочем настроенном размере

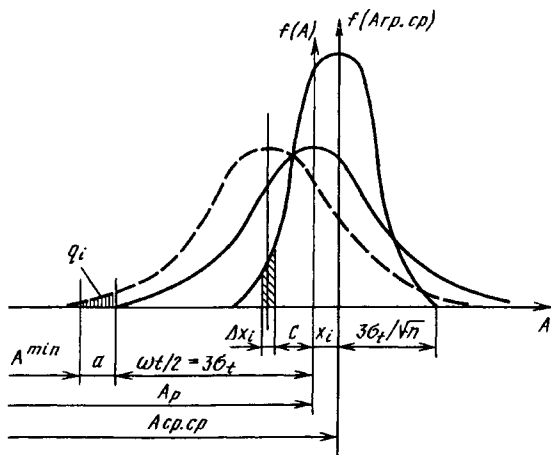
$$A_p = A^{\min} + a + 3\sigma_t$$

и что значение $A_{гр.ср}$ оказалось смещенным относительно A_p на величину x_i (рис. 6.46).

Можно полагать, что наиболее вероятно совмещение $M(x)$ со значением $A_{гр.ср}$. Но так как величина $M(x)$ случайная, ее значения могут рассеиваться в пределах поля

$$\omega_{M(x)} = 6\sigma_t / \sqrt{n}.$$

Рис. 6.46. Определение вероятности нахождения $M(x)$ в интервале Δx_i



Выделим часть Δx_i поля рассеяния возможных значений $M(x)$ и определим вероятность P_i нахождения $M(x)$ в пределах Δx_i , воспользовавшись нормированной функцией Лапласа:

$$P_i = 0,5 [\Phi(z_1) - \Phi(z_2)],$$

где

$$z_1 = \frac{x_i + c + \Delta x_i}{\sigma_t / \sqrt{n}} \quad \text{и} \quad z_2 = \frac{x_i + c}{\sigma_t / \sqrt{n}}.$$

Если $M(x)$ действительно займет положение в пределах интервала Δx_i , то мгновенное поле рассеяния ω_t возможных значений размера A окажется смещенным относительно рабочего настроечного размера A_p и размеры части изготовленных деталей выйдут за границу a . Вероятность такого события

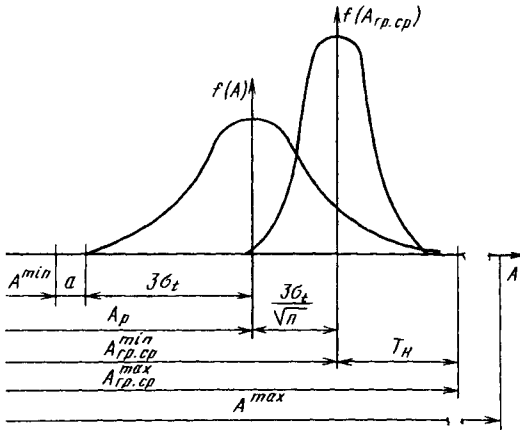
$$q_i = 0,5 [1 - \Phi(z_3)],$$

где

$$z_3 = \frac{3\sigma_t - c - 0,5\Delta x_i}{\sigma_t}.$$

Если в процессе настройки будет допущена еще и погрешность настройки Δ_n , то часть размеров деталей может оказаться за нижней границей A^{\min} поля допуска на размер A .

Рис. 6.47. Предельные значения $A_{гр.ср}$ размера, обеспечивающие правильность настройки технологической системы



При настройке технологической системы следует исходить из необходимости получения всех деталей годными, поэтому нижнее предельное значение (рис. 6.47)

$$A_{гр.ср}^{\min} \geq A^{\min} + a + 3\sigma_t + 3\sigma_t/\sqrt{n}.$$

Что касается верхнего предельного значения $A_{гр.ср}^{\max}$, то оно может быть определено с учетом допуска T_H , ограничивающего погрешность настройки станка:

$$A_{гр.ср}^{\max} = A_{гр.ср}^{\min} + T_H.$$

Назначение допуска T_H должно быть экономически целесообразно. Установление жесткого допуска T_H удлинит период времени работы технологической системы до ее поднастройки, но потребует больших затрат времени на настройку, так как ее нужно будет выполнять более тщательно и с применением более точных, а, следовательно, и более дорогих средств измерения. Более свободный допуск облегчит и удешевит настройку, но приведет к частым поднастройкам, требующим своих затрат труда. Техничко-экономическое сопоставление затрат труда и стоимости используемых средств определит рациональное значение допуска T_H .

Изложенные принципы настройки технологических систем распространяются на станки всех типов, включая станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Специфические особенности настрой-

Рис. 6.48. Методы настройки технологической системы по пробным деталям

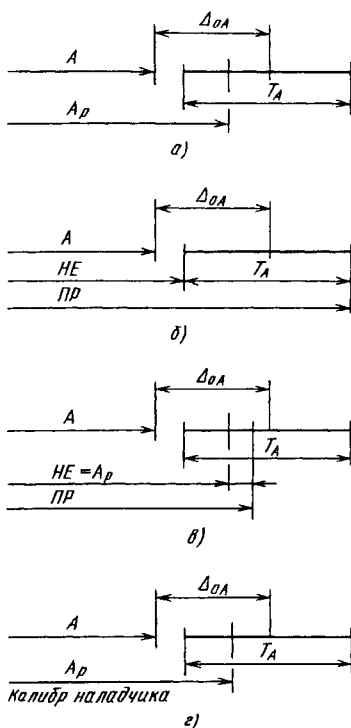
ки станков с ЧПУ изложены в специальном курсе технологии машиностроения [29].

Настройка технологической системы по методу пробных деталей. Необходимость иметь группу деталей, чтобы оценить значение $M(x)$ и определить его положение относительно рабочего настроенного размера A_p , привела к появлению следующих методов настройки по пробным деталям.

1. Настройка с помощью универсальных измерительных средств. Применение универсальных измерительных средств позволяет измерить размеры деталей, составляющих группу, вычислить значение $A_{гр.ср}$ размера и определить местоположение $M(x)$ относительно A_p (рис. 6.48, а). Недостатком метода является сравнительно высокая его трудоемкость.

2. Настройка по жестким предельным калибрам (рис. 6.48, б). При использовании предельных калибров можно установить лишь, находятся или нет размеры пробных деталей в пределах поля допуска на выдерживаемый размер. Представления о местоположении мгновенного поля рассеяния ω_t размеров относительно границ поля допуска этот метод не дает. Настройка станка по предельным калибрам широко распространена в массовом производстве, что объясняется простотой и малой трудоемкостью метода. Однако незнание истинного положения ω_t относительно границ поля допуска часто приводит к тому, что по завершении настройки станка вскоре возникает необходимость в его поднастройке. Если момент поднастройки будет упущен, неизбежно появление брака, поэтому применение настройки по жестким предельным калибрам должно сводиться к минимуму.

3. Настройка по суженным предельным калибрам (рис. 6.48, в). Для наладчика изготавливают специальные калибры, охватывающие допуск на погрешность настройки технологической системы. Пользуясь такими калибрами, наладчик в состоянии придать ω_t требуемое



положение и качественно настроить станок. Недостатками этого метода являются усложнение калибрового хозяйства и замедление процесса настройки по сравнению с настройкой по предельным калибрам. Однако большие затраты времени на настройку возмещаются ее качеством, а, следовательно, и удлинением периода времени до ближайшей поднастройки.

4. Настройка по наблюдению за знаками отклонений (рис. 6.48, з). Наладчику вручают единственный калибр, размер которого равен рабочему настроечному размеру A_p . Настройку технологической системы ведут по правилам артиллерийской стрельбы. Целью является размер A_p , с которым требуется совместить центр группирования $M(x)$ размеров группы деталей. Настройку начинают с захвата A_p в "вилку", т.е. с получения минусового и плюсового отклонений размеров деталей от размера A_p . Далее "вилка" сужается, пока при неизменяемой настройке не будут получены относительно размера A_p отклонения размеров: или "— — + +", или "— — — + +", или "— — + + +". При таких показателях $M(x)$ будет располагаться вблизи от A_p . При настройке по наблюдению за знаками отклонений расход пробных деталей оказывается значительным. При этом часть из них может попасть в неисправимый брак, поэтому этот метод можно применять только лишь при изготовлении простых и дешевых деталей.

Способы, облегчающие настройку и повышающие ее точность. Настройка технологической системы начинается с установки необходимых приспособлений. Для упрощения процесса установки приспособлений базирующие поверхности станков и приспособлений конструктивно оформляют таким образом, чтобы задачу установки решать методами взаимозаменяемости. Для этого на исполнительных поверхностях станков делают пазы, центрирующие пояски, посадочные гнезда и т.п., а у приспособлений — шпонки, выточки, цилиндрические или конические хвостовики и т.д.

Для большей точности установки приспособлений стараются ширину шпонок сделать равной ширине паза в столе, диаметр хвостовика равным диаметру отверстия в шпинделе и т.п. Однако размеры, относительное положение и форма сопрягаемых поверхностей отличаются от расчетных вследствие погрешностей изготовления и особенно из-за их изнашивания. Это приводит к погрешностям установки приспособлений, иногда значительным.

Не малое влияние на точность установки приспособлений оказывает выбор точек приложения и сил их закрепления. Собственные деформации приспособлений нарушают положение базирующих элементов и являются составной частью погрешностей установки заготовок или инструментов.

Чтобы после установки приспособления можно было проверить ее правильность, на приспособлениях создают специальные поверхности в виде площадок или поясков. Наличие таких поверхностей дает возможность проверить положение приспособления не только во время его установки, но и в любой момент процесса изготовления деталей.

Наиболее простым средством, сокращающим затраты времени на придание нужного положения инструментам в системе координат станка или приспособления, является ранее изготовленная деталь или специальный эталон. Особо часто этот способ применяют при обработке заготовок несколькими инструментами. Например, используя ранее изготовленную деталь, настраивают многорезцовые токарные полуавтоматы, приводя до соприкосновения с ней все резцы продольного и поперечного суппортов. В таком положении инструменты закрепляют. Если при обработке первых заготовок окажется, что некоторые инструменты не обеспечивают требуемой точности деталей, положение таких инструментов корректируют.

Необходимость в дополнительной корректировке положения инструментов объясняется тем, что при статической настройке технологической системы станка по ранее изготовленной детали или эталону не учитывается погрешность динамической настройки. Иногда делают эталоны, размеры которых учитывают систематическую составляющую погрешности динамической настройки. Такие эталоны позволяют более выгодно расположить мгновенное поле рассеяния относительно границ поля допуска.

При обработке заготовок сложного профиля больших габаритных размеров и массы использование ранее обработанных деталей в качестве эталонов затруднительно. В таких случаях их заменяют специально изготовленными габаритами. Габарит обычно представляет собой профиль детали, его изготавливают в виде отливки или сварной конструкции небольшой толщины (рис. 6.49, а). Чтобы рабочие поверхности габарита меньше истирались, их защищают калеными накладными пластинами.

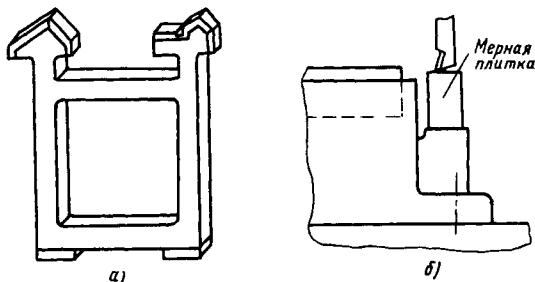


Рис. 6.49. Средства, облегчающие настройку станков

При изготовлении деталей простых форм иногда для настройки используют плоскопараллельные меры (плитки). В этих случаях в приспособлениях предусматривают специальные площадки, на которые эти плитки устанавливают (рис. 6.49, б).

Чтобы уберечь эталоны, габариты или мерные плитки от порчи режущими кромками инструмента, настройку ведут, применяя щупы или даже папиросную бумагу. Поместив щуп или бумагу между кромками инструмента и рабочей поверхностью, например, эталона, сближение инструмента и эталона ведут до тех пор, пока не будут закушены щуп или бумага. Толщину щупа или бумаги соответственно учитывают при изготовлении эталона, габарита или мерной плитки.

В целом точность настройки станков по эталонам и габаритам сравнительно невысока и находится на уровне 0,05—0,10 мм.

Для повышения точности настройки станки оснащают различными измерительными приборами и устройствами: линейками с нониусами, индикаторными, оптическими и других видов. Такие устройства повышают точность отсчета относительных перемещений узлов станков, несущих режущий инструмент и заготовку. В зависимости от разрешающей способности приборов точность отсчета может составлять сотые и тысячные доли миллиметра. Однако нельзя считать, что настройка технологической системы выполняется с той же точностью, с какой отсчитываются перемещения, так как точность настройки зависит и от других факторов.

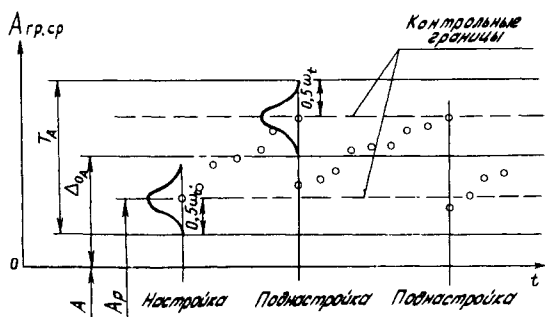
Так, большое значение имеет состояние станка в момент настройки и, в частности, степень его нагрева, распределение масс заготовки и перемещающихся узлов, действующих сил и деформаций деталей станка. Высокоточные станки оснащают разветвленными измерительными системами, обнаруживающими деформации ответственных деталей станков, и устройствами, устраняющими их.

В большой степени точность настройки технологической системы зависит от квалификации наладчика.

Поднастройка технологической системы. Необходимость в поднастройке возникает всякий раз, когда под воздействием систематических факторов точность первоначальной настройки теряется и создается угроза выхода значений выдерживаемого размера за какую-либо из границ поля допуска.

Для того чтобы не допустить появления брака, важно своевременно выявить момент, когда технологическая система должна быть поднастроена. Обнаружить такой момент позволяет периодическое наблюдение за состоянием процесса обработки путем измерения получаемых размеров в небольших группах деталей. При изготовлении одинаковых деталей в больших количествах время от времени

Рис. 6.50. Диаграмма групповых средних размеров



берут выборку из нескольких деталей. Детали измеряют и определяют их групповой средний размер $A_{гр.ср}$. Полученное значение сопоставляют с допуском и фиксируют тем или иным способом.

Одним из способов отображения состояния процесса обработки является диаграмма групповых средних размеров (рис. 6.50). На диаграмме нанесены границы поля допуска на выдерживаемый размер A и контрольные границы, которые не должны переступить значения $A_{гр.ср}$ размеров. Нижняя и верхняя контрольные границы отстоят от соответствующих границ поля допуска на величину $0,5\omega_{г}$. Достижение значением $A_{гр.ср}$ одной из контрольных границ служит сигналом для поднастройки. Процесс поднастройки технологической системы осуществляется на основе теоретических положений и способами, используемыми для ее настройки.

Изложенный метод контроля точности технологического процесса и выявления момента поднастройки является одной из разновидностей статистического контроля. Существуют и другие методы статистического контроля, например метод медиан, скользящей средней, упорядоченных выборок и др.

Технологические системы поднастраивают с использованием ранее рассмотренных методов достижения точности замыкающего звена. Наибольшее применение имеют методы полной и неполной взаимозаменяемости, регулирования и пригонки.

Методами полной и неполной взаимозаменяемости в зависимости от степени допускаемого риска осуществляется поднастройка при обработке заготовок мерным инструментом (сверлами, зенкерами, развертками, протяжками и т.п.). Весь мерный инструмент взаимозаменяем. Поднастройка станка сводится к замене износившегося инструмента новым.

При поднастройке технологических систем широко применяют метод регулирования с использованием подвижных компенсаторов. Роль подвижных компенсаторов выполняют различные устройства,

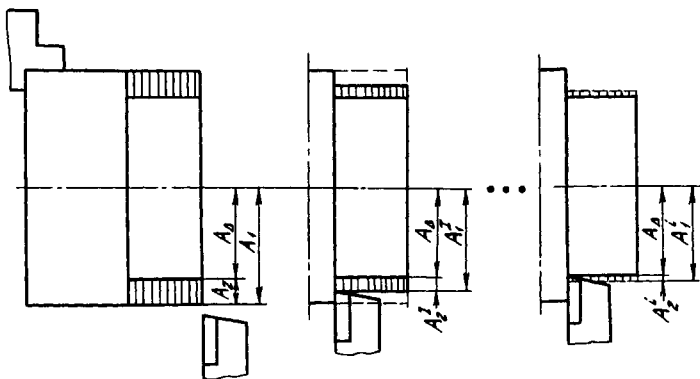


Рис. 6.51. Настройка по методу пробных проходов

которые имеются у станков (подвижные суппорты, бабки и т.п.). При поднастройке методом регулирования используют механизмы для малых перемещений, встраиваемые в резцедержатели. Такие механизмы имеются, например, в державках резцов токарных станков. Оправки, в которых закрепляют расточные резцы, так же часто оснащают механизмами для регулирования вылета резцов. Методом регулирования обычно компенсируют размерный износ невзаимозаменяемых инструментов.

Характерным примером применения метода пригонки может быть метод пробных ходов. Например, для перехода от размера A_1 заготовки к размеру A_{Δ} детали в процессе настройки или поднастройки токарного станка приходится выполнить несколько ходов (рис. 6.51). С каждой попыткой получаемый размер приближается к требуемому значению A_{Δ} , пока, наконец, на i -ом ходе оно не будет достигнуто. Припуск A_2 в данном случае выступает в роли компенсатора.

Часто разные этапы настройки и поднастройки выполняют с использованием различных методов достижения требуемой точности замыкающего звена. В связи с этим рассмотрим настройку и поднастройку токарного станка, на котором обработка заготовок и получение выдерживаемого размера ведется инструментом, настраиваемым вне станка.

Первоначальная настройка станка осуществляется методом пробных ходов, т.е. с использованием метода пригонки. При этом каждому пробному ходу предшествует перемещение резца относительно оси вращения заготовки с помощью механизма поперечного перемещения

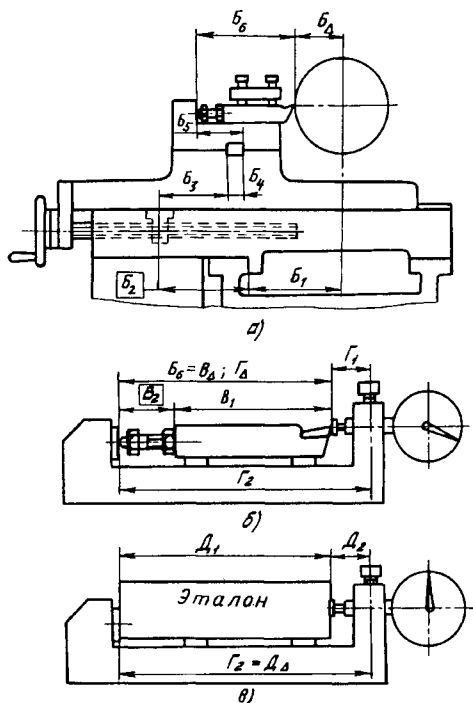
Рис. 6.52. Размерные связи, обеспечивающие возможность поднастройки станка с применением взаимозаменяемого инструмента

суппорта (рис. 6.52, а). Требуемое перемещение резца создается за счет изменения значения звена B_2 технологической размерной цепи B станка, в которой B_Δ — размер, получаемый на данном ходе. Задача придания резцу требуемого положения для совершения очередного хода решается методом регулирования, а звено B_2 является подвижным компенсатором. По достижении B_Δ значения рабочего настроечного размера B_p станок будет настроен.

Поднастройку станка ведут методом взаимозаменяемости путем замены износившегося инструмента инструментом, настроенным вне станка. Настройка самого инструмента на размер $B_6 = B_\Delta$ заключается в регулировании вылета упора и фиксации его положения контргайкой. Задачу решают с помощью размерной цепи B (рис. 6.52, б). Подвижным компенсатором служит упор, ввинчиваемый в тело резца (звено B_2).

Расстояние B_Δ между вершиной резца и сферическим наконечником упора контролируют индикатором, установленным в приспособлении. Его познанное значение следует рассматривать как замыкающее звено Γ_Δ измерительной размерной цепи Γ (рис. 6.52, в), составляющими звеньями которой являются звено Γ_1 , отражающее показания и точность работы индикатора; звено Γ_2 — расстояние между опорной скрытой базой, определяющей положение индикатора в направлении контролируемого размера, и опорой для резца в приспособлении. Измерение ведут с использованием метода взаимозаменяемости.

Настройку приспособления, цель которой сводится к приданию требуемого положения индикатору относительно упора для резца,



осуществляют по эталону методом регулирования. Задачу решают с помощью размерной цепи D (рис. 6.52, в), в которой $D_{\Delta} = G_2$ — размер, на который настраивают приспособление; D_1 — размер эталона; D_2 — звено, учитывающее неточность установки лимба индикатора и его показаний в момент настройки приспособления.

Рассмотренный пример показывает, что в процессе настройки и поднастройки могут возникать сложные размерные связи. Их реализация сопровождается возникновением отклонений на звеньях размерных цепей, с помощью которых решают задачи на разных этапах настройки или поднастройки. При этом размерные цепи оказываются последовательно связанными: замыкающее звено размерной цепи, возникшей на предшествующем этапе, входит в качестве составляющего звена в размерную цепь последующего этапа. Так, $D_{\Delta} = G_2$; $B_{\Delta} = B_6$.

Наличие связей между размерными цепями означает, что погрешность настройки или поднастройки в общем случае оказывается накопленной. Действительно, погрешность $\omega_{D_{\Delta}}$, допущенная при настройке прибора, будет проявляться как систематическая погрешность на звене G_2 . Но в процессе измерения резца она будет дополнена каким-то случайным отклонением и вместе с отклонением звена G_1 составит погрешность $\omega_{L_{\Delta}}$ измерения длины резца. Погрешность $\omega_{B_{\Delta}}$ настройки резца будет дополнена погрешностью $\omega_{L_{\Delta}}$ измерения его длины и как систематическая погрешность будет присутствовать на звене B_6 размерной цепи технологической системы. В процессе обработки заготовки помимо погрешности настройки резца в состав погрешности звена B_6 войдут погрешность установки резца в резцедержателе и отклонения динамического характера.

Раскрытие размерных связей, сопровождающих настройку и поднастройку, дает возможность правильно выбрать или обосновать требования к точности средств, с помощью которых они осуществляются. Так, для обеспечения поднастройки токарного станка с требуемой точностью в рассмотренном примере допуски следовало бы рассчитывать в следующей последовательности.

1. Исходя из допуска на выдерживаемый размер B_{Δ} , ограничить допусками $T_{B_{\Delta}y}$, $T_{B_{\Delta}c}$, $T_{B_{\Delta}d}$ соответственно погрешности установки заготовки, статической и динамической настройки технологической системы так, чтобы $T_{B_{\Delta}} \geq T_{B_{\Delta}y} + T_{B_{\Delta}c} + T_{B_{\Delta}d}$.

2. Используя допуск $T_{B_{\Delta}c}$ в качестве исходной величины, ограничивающей погрешность поднастройки станка, установить допуск

$T_{B_6 \text{ у.р}}$ на погрешность установки резца в резцедержателе и допуск $T_{B_6 \text{ н.р}}$, ограничивающий погрешность настройки резца:

$$T_{B_{\Delta c}} \geq T_{B_6 \text{ у.р}} + T_{B_6 \text{ н.р}}.$$

3. Ограничить частью допуска $T_{B_6 \text{ н.р}}$ погрешность, допускаемую при регулировании длины резца и погрешность ее измерения:

$$T_{B_6 \text{ н.р}} \geq T_{B_{\Delta}} + T_{G_{\Delta}}.$$

При этом не следует допускать, чтобы погрешность измерения превышала $0,2 T_{B_6 \text{ н.р}}$.

4. Исходя из допуска $T_{G_{\Delta}}$, ограничить отклонения составляющих звеньев G_1 и G_2 , возникающие в процессе измерения:

$$T_{G_{\Delta}} \geq T_{G_1} + T_{G_2}.$$

Причинами отклонений могут быть погрешность установки резца в приспособлении, погрешность настройки приспособления, тепловые деформации приспособления и резца и др. Ограничив частями допусков T_{G_1} и T_{G_2} проявление этих факторов, получим требования, например, к точности измерительного прибора, которым должно быть оснащено приспособление, к точности настройки приспособления, тепловому режиму измерения и др.

5. Ограничить частью допуска T_{G_2} погрешность настройки приспособления. Исходя из значения $T_{D_{\Delta}} = T_{G_2}$ и учтя точностные возможности выбранного прибора, предъявить требования к точности эталона и его установки, а также выдвинуть требования к условиям, при которых должна проходить настройка приспособления.

Наряду с расчетом полей допусков должны быть рассчитаны в том же порядке и координаты середин полей допусков, иначе расчет будет неполным и бесполезным.

Происхождение и сокращение погрешности динамической настройки технологической системы

С момента врезания режущих кромок инструмента в материал заготовки технологическая система подпадает под воздействие сил резания, перемещающихся масс ее деталей, узлов и заготовки, а также теплоты.

Под действием сил, за счет зазоров в стыках деталей технологической системы, контактного и упругого деформирования заготовка и режущий инструмент начинают перемещаться в пространстве в направлениях, не предусмотренных кинематикой процесса обработки. Эти перемещения происходят до тех пор, пока силы сопротивления, создаваемые упругими свойствами материала деталей, слоями смазочного материала, силами трения, силами тяжести деталей, не уравновесят действие внешних сил и пока в технологической системе не создастся натяг, необходимый для съема слоя материала с заготовки.

Помимо этого, по мере нагрева деформируются детали станка и приспособления, заготовка, режущий инструмент. Это деформирование также нарушает относительное положение заготовки и инструмента, достигнутые в процессе их установки и настройки технологической системы, и продолжается до тех пор, пока технологическая система не достигнет уровня теплового равновесия.

В процессе обработки заготовки равновесное состояние технологической системы станка непрерывно нарушается. Причинами этого являются непостоянство припусков и свойств материала заготовки, изменения режимов обработки, перерывы в работе и др. Это приводит к дополнительным перемещениям в пространстве режущих кромок инструмента и заготовки, к изменениям степени деформирования элементов технологической системы.

В процессе обработки заготовки непрерывно идет изнашивание режущего инструмента, что также приводит к изменению положения его режущих кромок относительно технологических баз заготовки. В своей совокупности эти и другие явления приводят к отклонениям формы, относительного положения и размеров обработанных поверхностей детали, они же влияют и на качество поверхностных слоев. Отклонения, возникающие непосредственно в процессе обработки заготовки, получили название погрешностей динамической настройки технологической системы.

Одним из наиболее активных факторов динамического характера является сила P резания и ее колебания. Из известных формул

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2} \quad \text{и}$$

$$P = \sqrt{\left(C_{P_z} t^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}} k_M^{u_{P_z}} \right)^2 + \dots \rightarrow} \\ \dots \rightarrow \frac{\dots}{+ \left(C_{P_y} t^{x_{P_y}} S^{y_{P_y}} k_M^{u_{P_y}} \right)^2 + \left(C_{P_x} t^{x_{P_x}} S^{y_{P_x}} k_M^{u_{P_x}} \right)^2}$$

следует, что значительное влияние на силу резания оказывают глубина t резания и свойства материала заготовки, характеризуемые коэффициентом k_M . Глубина резания определяется припуском на обработку, колебание значений которого во многих случаях является одним из решающих факторов, оказывающих влияние на точность изготавливаемых деталей.

Отклонения припусков на обработку. Значения и колебания значений припусков зависят в основном от точности заготовок, поступающих на обработку. Наибольшими по значению и рассеянию оказываются припуски у литых, кованных и сварных заготовок, проходящих первоначальную обработку. По мере повышения точности заготовок в ходе их обработки значения припусков и их колебания уменьшаются.

Непостоянство припусков наблюдается не только при переходе от заготовки к заготовке детали данного наименования, но и в пределах обрабатываемой поверхности одной заготовки. Поэтому силы резания могут изменяться не только при переходе к обработке другой заготовки, но и при обработке разных участков поверхности одной и той же заготовки. Колебания припусков в партии заготовок являются причиной рассеяния размеров деталей, изготовленных из них. Неравномерный припуск на отдельной поверхности заготовки приводит к отклонениям формы этой поверхности у изготовленной детали.

Избыточный и неравномерный припуск вынуждает назначать дополнительные рабочие ходы, что ведет к снижению производительности процесса изготовления детали и повышению ее себестоимости. Поэтому уменьшение припусков и повышение точности всех видов заготовок представляет собой важную проблему. Результатом ее решения была бы существенная экономия материалов и сокращение длительности цикла изготовления деталей.

Отклонения свойств материала заготовок. Так же как и припуски, неоднородные свойства материала заготовок влияют на точность

деталей через изменение сил резания. Известно, что при переходе от обработки заготовок из материала одной марки к обработке заготовок из материала другой марки силы резания могут изменяться в несколько раз.

Связь сил резания со свойствами материалов заготовок принято учитывать коэффициентом k_M , поставленным в зависимость от твердости материала. Например, для горячекатаных и отожженных сталей $k_M = 1$, для алюминия и силумина $k_M = 0,2$ и т.п. С помощью коэффициента k_M нельзя учесть всех свойств материалов, например их обрабатываемости. Поэтому учет влияния свойств материалов на значение сил резания с помощью коэффициента k_M оказывается весьма приближенным.

Разными свойствами наделены не только материалы разных марок. Неоднородность свойств материала возможна в пределах одной заготовки. Бывает, что твердость материала в разных частях чугунной отливки колеблется от *HB* 150 до *HB* 280. Очевидно, что при таких размахах колебаний свойств материала заготовок, изменения сил резания будут значительными, и это отразится на точности и выдерживаемых размеров, и формы поверхностей деталей. От металлургической промышленности, литейных и кузнечных цехов машиностроительных заводов требуется повышение качества поставляемых материалов и заготовок и, прежде всего, обеспечение стабильности свойств материала в партии заготовок и каждой заготовки в отдельности.

Значения припусков и характеристик свойств материалов в технологическом процессе изготовления деталей выступают как случайные величины. Поэтому сила резания, являющаяся функцией случайных величин t и k_M , также будет случайной величиной со всеми вытекающими из этого следствиями. Увеличение полей рассеяния значений припусков или характеристик свойств материала, или того и другого одновременно, приведет к увеличению поля рассеяния значений сил резания. Изменения средних значений этих показателей отразятся соответственно на среднем значении силы резания.

Связь точности изготовленных деталей с припусками и свойствами материала заготовок сводится к следующему. Значения припуска и характеристик свойств материала заготовки определяют значение силы резания. Сила резания через жесткость технологической системы станка трансформируется в относительное упругое перемещение режущего инструмента и заготовки, являющееся составной частью погрешности динамической настройки системы, а следовательно, и детали. Для наглядности связь точности детали со свойствами заготовки представлена на рис. 6.53.

Рис. 6.53. Формирование упругого перемещения в технологической системе

Жесткость технологической системы. Исследования жесткости металлорежущих станков и их узлов были начаты К.В. Вотиновым в 1936 г. По его определению под жесткостью понимают "способность узла сопротивляться появлению упругих отжатий". Измерять жесткость j узла было предложено отношением приращения нагрузки к получаемому при этом приращению упругого отжатия:

$$j = \Delta P / \Delta \alpha,$$

где ΔP — приращение нагрузки; $\Delta \alpha$ — приращение упругого отжатия.

Принципиальная схема определения перемещения одной детали узла относительно другой под действием прикладываемой силы (по К.В. Вотинову) показана на рис. 6.54, а. По мере увеличения массы груза, подвешенного на тросе, возрастает сила P , приложенная к концу шпинделя коробки скоростей. По показаниям индикатора, расположенного против точки приложения силы P по направлению ее действия, судят о перемещении конца шпинделя относительно станины станка. Полученные данные в виде точек наносят на график (рис. 6.54, б) и получают нагрузочную ветвь характеристики

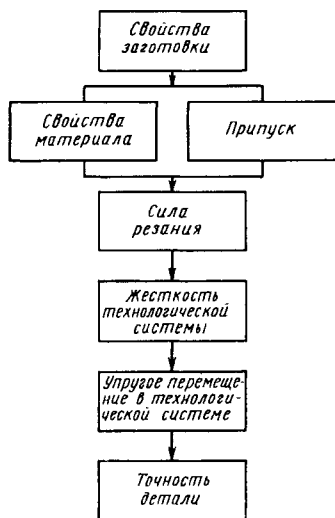


Рис. 6.54. Нагрузка шпинделя станка (а) и его перемещения (б) (по К.В. Вотинову)

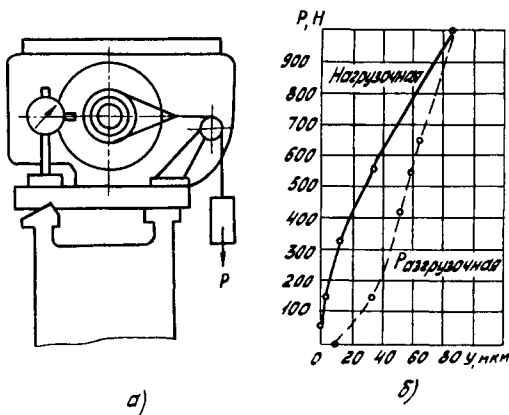
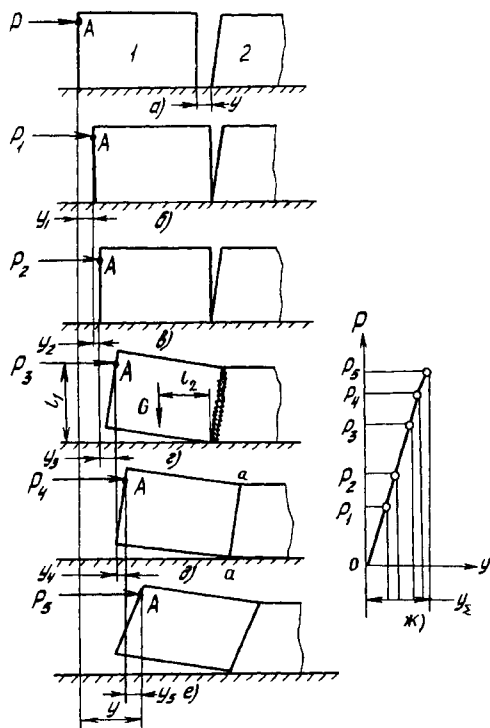


Рис. 6.55. Схема образования перемещения точки A детали под воздействием силы P



жесткости узла. Затем, постепенно уменьшая нагрузку, строят разгрузочную ветвь. Площадь образовавшейся петли гистерезиса представляет собой работу, затраченную на преодоление сил трения, контактных деформаций и т.п. При повторных циклах нагрузки площадь петли гистерезиса уменьшается вследствие выборки зазоров в стыках деталей при первом нагружении и уменьшения пластического деформирования по мере многократного нагружения стыков.

В последующие годы исследованию жесткости было посвящено много работ, сделанных в ЭНИМ-

Се, Ленинградском политехническом институте под руководством А.П. Соколовского, Мосстанкине, других учебных и научно-исследовательских институтах, заводских лабораториях. Результаты работ внесли большой вклад в раскрытие сущности этого явления, в повышение точности и производительности процессов изготовления деталей.

Б.С. Балакшиным на примере двух деталей (рис. 6.55, а) дано следующее объяснение явлений, приводящих под действием силы P к перемещению точки A подвижной детали 1 относительно неподвижной детали 2.

Если к детали 1 (рис. 6.55, б) приложить силу P_1 , достаточную для того, чтобы преодолеть силы трения, то она переместится до соприкосновения с деталью 2. Точка A при этом получит перемещение u_1 . Дальнейшее увеличение силы до значений P_2 приведет к возникновению контактных деформаций на участках контакта деталей и перемещению точки A на величину u_2 (рис. 6.55, в); P_3 —

к опрокидыванию детали 1 и перемещению точки A на величину u_3 , если момент $P_3 l_1$ будет больше момента $G l_2$, создаваемого силой веса детали 1 (рис. 6.55, z); P_4 — к перемещению точки A на величину u_4 за счет контактных деформаций деталей в стыке $a - a$ (рис. 6.55, $д$); P_5 — к перемещению точки A на величину u_5 вследствие собственного деформирования деталей 1 и 2 (рис. 6.55, $е$).

Нанесение точек на график (рис. 6.55, $ж$) и соединение точек отрезками прямых линий даст характеристику жесткости комплекта из двух деталей, сходную по виду с той, что была получена К.В. Воиновым.

Явления усложняются, если от двух деталей перейти к узлу или технологической системе, где в относительном перемещении наметенных точек двух деталей участвует соединение нескольких деталей. В этом случае относительное перемещение избранных точек будет представлять собой сумму перемещений, происходящих из-за наличия зазоров в стыках, поворотов, контактных и собственных деформаций деталей соединения.

В общем случае узел или технологическая система подвержена воздействию одновременно нескольких сил и моментов, создаваемых этими силами. Поэтому, чтобы воспользоваться общепринятым положением о жесткости, как способности узла или технологической системы оказывать сопротивление перемещению выбранных точек в направлении действия силы, порождающей это перемещение, необходимо найти такую силу, которая действовала бы по нормали к поверхностям деталей, которым принадлежит избранные точки.

Б.С. Балакшиным было предложено для этого использовать понятие об эквивалентной силе, представляющей собой силу, момент которой равен сумме моментов действующих сил. Например, применительно к суппорту токарного станка и заготовке за эквивалентную можно принять силу, направленную по нормали к обрабатываемой поверхности заготовки, в направлении которой происходят относительные перемещения режущих кромок резца и заготовки (рис. 6.56). Момент эквивалентной силы будет равен сумме моментов силы P резания и силы G тяжести суппорта, действующих относительно мгновенного полюса O поворота суппорта. Под мгновенным полюсом поворота понимают точку, относительно которой осуществляется мгновенный поворот сборочной единицы или детали.

От знака эквивалентной силы зависит направление ее вектора. Если за положительное направление принять действия моментов сил, указывающее поворот суппорта относительно точки O против часовой стрелки, то в случае, показанном на рис. 6.56, $а$,

$$P_3 = (P l_1 + G m) / l_2,$$

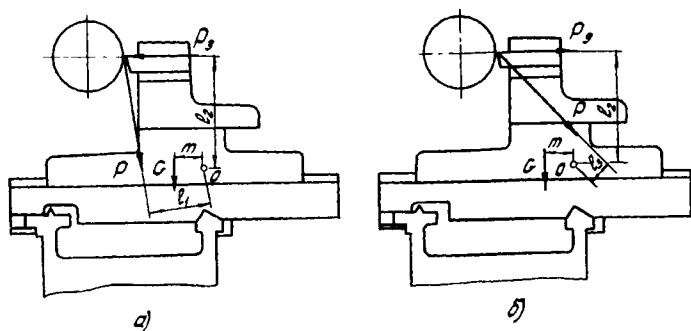


Рис. 6.56. Зависимость направления действия эквивалентной силы от знака ее момента относительно мгновенного полюса поворота

эквивалентная сила оказывается положительной и резец будет перемещаться в сторону заготовки.

Противоположным окажется направление эквивалентной силы в случае, показанном на рис. 6.56, б, когда момент отрицателен

$$|Pl_3| > |Gm| \quad \text{и}$$

$$P_3 = (-Pl_3 + Gm) / l_2.$$

Под действием эквивалентной силы резец в этом случае будет перемещаться от заготовки.

Использование понятия об эквивалентной силе позволило показать несостоятельность введенных и бытовавших одно время понятий об отрицательной и бесконечно большой жесткости технологических систем. Сталкиваясь со случаями, когда в процессе обработки режущий инструмент перемещается в направлении, противоположном вектору составляющей P_y силы резания, стали объяснять это явление отрицательной жесткостью технологической системы. Случаи полного отсутствия упругого перемещения инструмента при наличии силы резания были приписаны бесконечно большой жесткости технологической системы.

И то и другое противоречит здравому смыслу, так как жесткость технологической системы является одним из ее свойств и, как свойство, не может быть отрицательной или бесконечно большой. Измеряя жесткость отношением приращения ΔP_3 эквивалентной силы к приращению Δu перемещения, измеряемого в направлении ее действия $j = \Delta P_3 / \Delta u$, и учитывая знаки ΔP_3 и Δu , которые всегда

совпадают, можем иметь лишь положительное значение характеристики жесткости.

Возможно, что в какой-то момент работы технологической системы окажутся равными суммы положительных и отрицательных моментов действующих сил, что приведет к $\Delta P_z = 0$ и $\Delta y = 0$. Неопределенность состояния системы в такой момент следует трактовать скорее как ее неустойчивость в возникновении перемещений того или иного направления, но не как бесконечно большую жесткость.

Жесткость технологической системы во времени не является постоянной величиной. Значения характеристик жесткости станка в статическом состоянии и во время его работы не одинаковы. Даже в станке, работающем на холостом ходу, возникают вибрации, толчки и удары, при наличии которых силы трения в стыках деталей уменьшаются, и зазоры между деталями выбираются при меньших нагрузках.

Существенные изменения жесткости станка вызывает его нагрев. Так, по наблюдениям Л.В. Худобина, жесткость шпиндельной бабки круглошлифовального станка, составлявшая при нормальной температуре неработающего станка 15100 Н/мм, через 30 мин его работы на холостом ходу достигла 22400 Н/мм, т.е. возросла на 44 %.

Неодинаковой в радиальном направлении оказывается жесткость узлов станков с вращающимися деталями. Например, по данным Г.Б. Фикс-Марголина для токарных станков характерны круглограммы жесткости шпиндельной группы и упругих перемещений шпинделей, подобные показанным на рис. 6.57.

Учитывая, что жесткость технологической системы переменна и ее значение зависит от многих факторов, проявление которых невозможно предвидеть заранее, ее характеристику следует отнести к разряду случайных величин.

Из изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Под жесткостью сборочной единицы и технологической системы следует понимать их способность оказывать сопротивление перемещению выбранной точки в направлении действия силы, порождающей это перемещение. Жесткость представляет собой одну из характеристик их физического состояния.

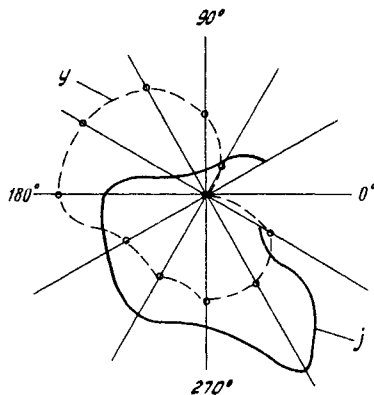


Рис. 6.57. Круглограммы жесткости j шпиндельной группы и упругих перемещений y шпинделя, характерные для токарных станков

2. Жесткость следует измерять отношением приращения ΔP , эквивалентной силы к приращению перемещения Δu , измеряемого в направлении ее действия.

3. Характеристика жесткости является случайной величиной и не может быть отрицательной или бесконечно большой.

4. Условия измерения жесткости требуют строгой регламентации. Должны быть указаны координаты точек, в которых измеряют перемещения, точек приложения нагрузок, температура узла и т.д.

5. Величина, обратная жесткости, получила название податливости. Податливость w , мм/Н, — это способность сборочной единицы или технологической системы изменять относительное положение двух избранных точек под воздействием приложенной силы в направлении ее действия: $w = 1/j$.

Связи точности деталей с припусками, свойствами материала заготовок и жесткостью технологической системы, схематично отображенной на рис. 6.53, можно дать более глубокое объяснение.

Вследствие рассеяния значений припусков и характеристик свойств материалов заготовок, например твердости, значения силы резания будут также рассеиваться от $P^{нм}$ до $P^{нб}$. Если при этом учесть, что значения жесткости технологической системы случайны и подлежат рассеянию от $j^{нм}$ до $j^{нб}$, то, даже при стабильном рассеянии значений силы резания, значения поля ω_y рассеяния упругих перемещений и координаты Δ_{ω_y} его середины не будут оставаться постоянными. Изменения характеристик рассеяния упругих перемещений в связи с изменением состояния технологической системы показаны на рис. 6.58, а. Заштрихованный участок диаграммы пред-

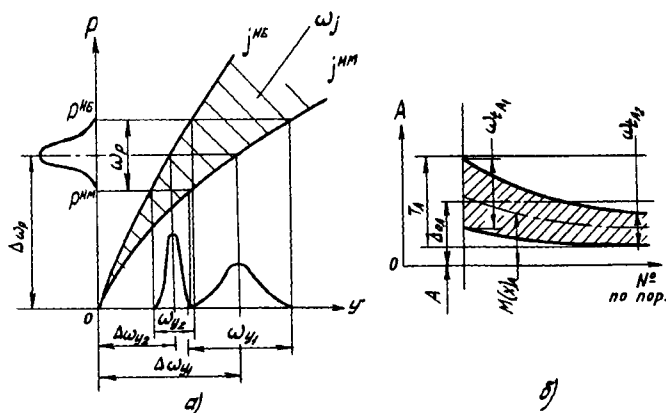
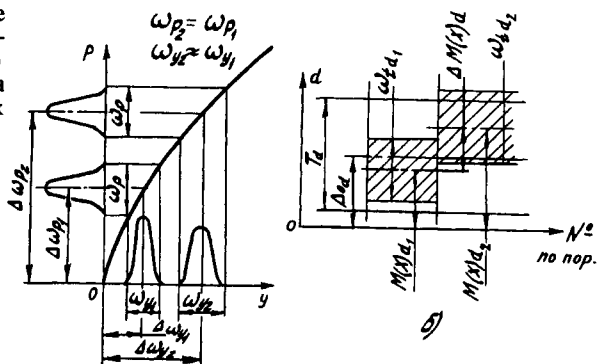


Рис. 6.58. Зависимость значения и положения поля рассеяния упругих перемещений от жесткости технологической системы

Рис. 6.59. Проявление на точечной диаграмме изменения среднего значения припуска (твердости) у заготовок



ставляет собой поле ω_y рассеяния значений жесткости технологической системы. При получении охватывающих размеров постепенное увеличение жесткости технологической системы, что может быть вызвано ее нагревом, будет сопровождаться уменьшением мгновенного поля ω_x рассеяния размеров и смещением центра группирования $M(x)$ к нижней границе поля допуска (рис. 6.58, б).

При изготовлении в больших количествах одноименных деталей, одновременно с жесткостью технологической системы, могут изменяться и значения характеристик рассеяния припусков и твердости заготовок. Такие изменения повлекут за собой изменения значений сил резания, что отразится на поле ω_y рассеяния упругих перемещений и координате Δ_{ω_y} его середины.

Так как упругие перемещения в технологической системе составляют часть погрешностей выдерживаемых размеров деталей, то изменения характеристик их рассеяния приведет к изменению точности деталей. В связи с этим может быть рассмотрен ряд задач, иллюстрирующих зависимость точности деталей от припусков и твердости заготовок.

Предположим, что при стабильной жесткости технологической системы в обработку запущена новая партия заготовок валов, у которых при том же поле рассеяния припусков, что и в предыдущей партии, среднее значение припусков оказалось большим. Как это отразится на точности диаметрального размера d одной из обрабатываемых шеек валов?

С увеличением среднего значения припусков изменится значение координаты Δ_{ω_p} середины поля рассеяния значений силы резания (рис. 6.59, а), а следовательно и координаты Δ_{ω_y} середины поля рассеяния упругих перемещений. Вследствие этого на точечной

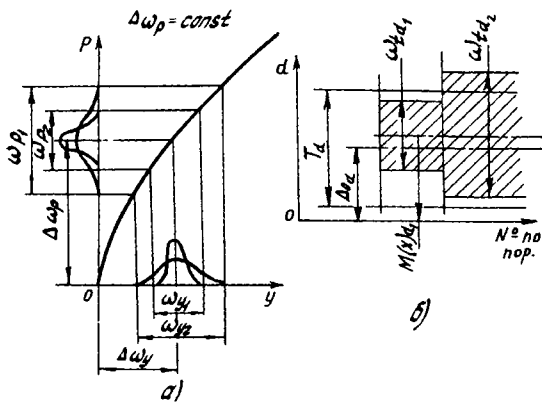


Рис. 6.60. Проявление на точечной диаграмме изменения поля рассеяния твердости (припуска) заготовок

диаграмме (рис. 6.59, б) произойдет смещение $\Delta M(x)$ центра группирования размеров d шеек валов, т.е. произойдет смещение мгновенного поля ω_{t_d} без заметного изменения его значения. Аналогичной была бы картина и при изменении среднего значения твердости заготовок.

По-другому на точечной диаграмме отразится, например, увеличение поля рассеяния значений твердости заготовок при сохранении ее среднего значения. Прежде всего увеличится поле рассеяния значений силы резания и, как следствие, поле рассеяния упругих перемещений (рис. 6.60, а). Это приведет к расширению мгновенного поля рассеяния размера d валов (рис. 6.60, б). То же произошло бы и при увеличении поля рассеяния припусков у заготовок.

Неравномерный припуск, снимаемый с поверхности заготовки, неоднородные свойства материала в различных частях заготовки, неодинаковая жесткость технологической системы при обработке заготовки в разных ее сечениях приводят к отклонениям формы обработанной поверхности детали.

Например, удаление неравномерного припуска с поверхности заготовки (рис. 6.61) будет сопровождаться изменением силы резания. Ее изменениям будут соответствовать изменения упругих перемещений в технологической системе. Вследствие этого возникнут отклонения формы обработанной поверхности в продольном сечении

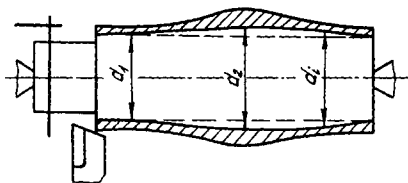


Рис. 6.61. "Копирование" формы заготовки в продольном направлении

Рис. 6.62. "Копирование" формы заготовки в поперечном сечении

детали, в определенной мере повторяющие форму поверхности заготовки. Произойдет так называемое копирование формы поверхности заготовки с ее уточнением.

По тем же причинам копирование формы поверхности заготовки наблюдается и в ее поперечном сечении. Если поверхность заготовки будет иметь отклонение от круглости, например эллипсность (рис. 6.62), то поверхность детали, полученная в результате обработки, будет иметь отклонение того же вида, но меньшего значения.

При обработке заготовки нежесткого вала (рис. 6.63, а), установленной в центрах (передний центр рифленый) токарного станка, причинами отклонений формы поверхности вала в продольном сечении будет являться переменная жесткость технологической системы по мере перемещения инструмента от задней к передней бабке станка.

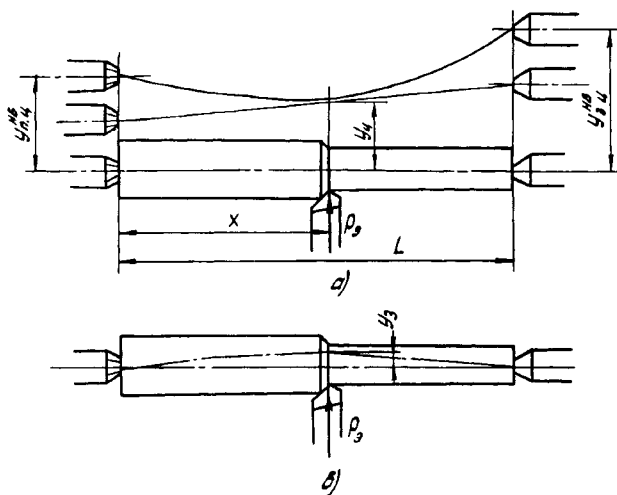
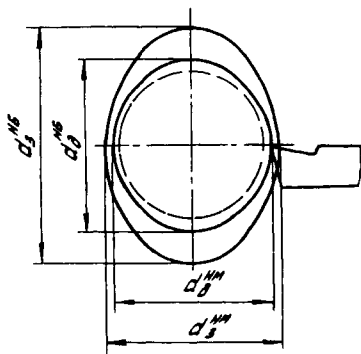


Рис. 6.63. Образование упругих перемещений в технологической системе при обработке заготовки нежесткого вала

В сечении заготовки, отстоящем от переднего центра на расстоянии x , упругое перемещение в технологической системе под воздействием эквивалентной силы $P_э$ складывается из перемещений $y_{ц}$ центров станка, самой заготовки из-за ее деформации $y_з$, суппорта y_c и реза y_p :

$$y = y_{ц} + y_з + y_c + y_p.$$

По аналогии с перемещением жесткой балки на двух упругих опорах будем иметь

$$y_{ц} = \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \frac{P_э}{j_{п.ц}} + \left(\frac{x}{l}\right)^2 \frac{P_э}{j_{з.ц}},$$

где $j_{п.ц}$ — жесткость передней бабки, измеренная на переднем центре; $j_{з.ц}$ — жесткость задней бабки, измеренная на заднем центре.

С изменением координаты x упругое перемещение центров станка будет непостоянным. Наибольшие перемещения задний и передний центры будут иметь соответственно в моменты врезания реза в заготовку и завершения процесса резания. Поэтому по мере перемещения реза от задней бабки к передней податливость центров будет изменяться, и заготовка будет поворачиваться, огибая параболическую кривую. Это приведет к погрешности формы поверхности детали.

На погрешность формы, созданную податливостью центров, наложится погрешность формы из-за нежесткости самой заготовки и ее прогиба под действием силы $P_э$ (рис. 6.63, б). Прогиб вала в месте приложения силы $P_э$

$$y_з = \frac{P_э x^2 (L-x)^2}{3EJL},$$

где E — модуль упругости материала заготовки; J — момент инерции сечения заготовки.

Таким образом, из-за податливости центров передней и задней бабок станка и нежесткости самой заготовки погрешность формы обрабатываемой поверхности вала является неизбежным явлением. Ее можно уменьшать, повышая жесткость технологической системы, но от нее нельзя избавиться, так как ни станок, ни заготовку нельзя сделать абсолютно жесткими.

На всей длине вала отклонения $y_{ц}$ и $y_з$ будут дополняться упругими перемещениями суппорта и деформациями реза. Таким образом, упругое перемещение в технологической системе на расстоянии x от передней бабки

$$y = \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \frac{P_{\text{э}}}{j_{\text{п.ц}}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{P_{\text{э}}}{j_{\text{з.ц}}} + \frac{P_{\text{э}} x^2 (L-x)^2}{3EJL} + \frac{P_{\text{э}}}{j_{\text{с}}} + \frac{P_{\text{э}}}{j_{\text{р}}}$$

Погрешности формы поверхности детали могут быть вызваны и другими причинами, связанными с действием сил и жесткостью технологической системы. Так, при обработке заготовки в центрах и передаче ей вращения с помощью одностороннего хомутика (рис. 6.64, а) эквивалентная сила в течение каждого оборота заготовки будет увеличиваться или уменьшаться на величину

$$\Delta P_{\text{э}} = \frac{P_z r}{\rho} \cos \alpha \frac{L}{x},$$

где P_z — составляющая силы резания; r — радиус обрабатываемой поверхности; ρ — радиус, на котором расположен палец поводкового

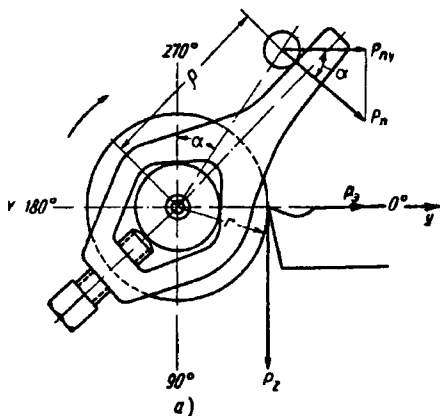
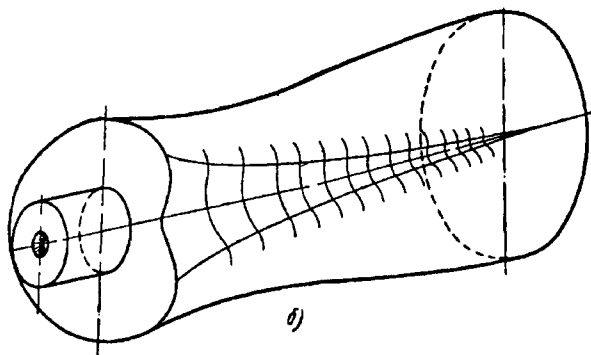


Рис. 6.64. Влияние одностороннего хомутика на форму обработанной поверхности детали:

P_n — сила воздействия поводка на хомутик



патрона; L — расстояние между сечением крепления хомутика на заготовке и ее левым торцом; x — расстояние между резцом и левым торцом заготовки.

По мере перемещения резца от задней бабки к передней и изменении угла α приращение ΔP_z будет изменяться. В результате обработки форма поверхности детали будет отличаться от цилиндра (рис. 6.64, б).

Следовательно, жесткость технологической системы существенно влияет на точность изготавливаемых деталей. Вместе с тем от жесткости технологической системы зависит производительность процесса обработки. Стремясь удержать рассеяние упругих перемещений в допустимых пределах, приходится ограничивать колебания силы резания. Это может быть связано со снижением режимов обработки и увеличением числа рабочих ходов, т.е. с большими затратами времени на обработку.

Повышение жесткости технологической системы является одним из средств сокращения погрешности ω_d динамической настройки и увеличения производительности обработки. Существуют следующие основные пути увеличения жесткости технологических систем.

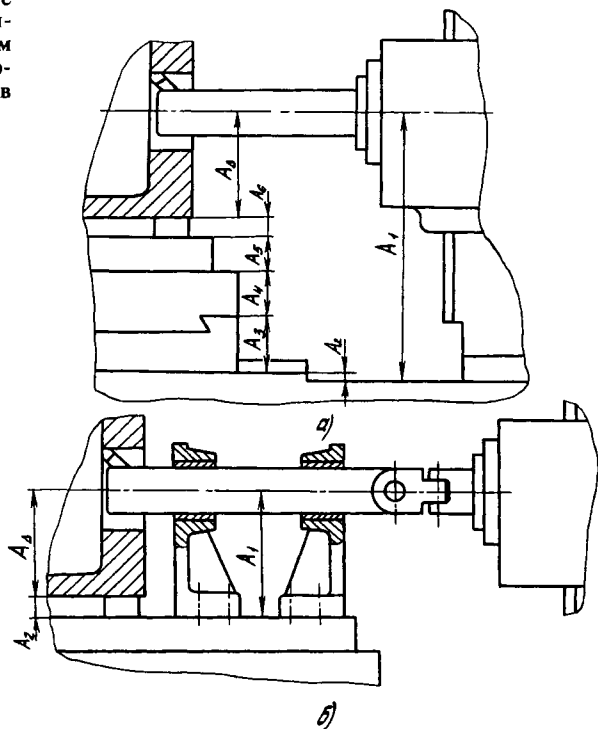
1. Повышение собственной жесткости конструкции станков, приспособлений и режущего инструмента за счет сокращения числа звеньев в конструкторских размерных цепях, большей жесткости самих деталей и применения устройств, обеспечивающих предварительный натяг наиболее ответственных элементов технологической системы. Натяг может быть создан пружинными, гидравлическими и другими видами механизмов, подвешенными грузами, зажимными устройствами, фиксирующими положение перемещаемого узла.

2. Обеспечение максимальной достижимой жесткости станков, приспособлений и инструментов в процессе их изготовления. Особое внимание нужно уделять контактной жесткости поверхностей стыков деталей и качеству сборки элементов технологической системы.

Жесткость стыков деталей характеризуется сближением контактирующих поверхностей деталей под воздействием внешней нагрузки. С уменьшением значений параметров шероховатости и волнистости поверхностей жесткость стыков возрастает, поэтому при выборе способов обработки поверхностей сопряжения деталей нужно учитывать податливость стыка под нагрузкой.

Жесткость станков и приспособлений во многом зависит от качества регулировки подшипников, клиньев, прижимных планок и т.п., проводимой в процессе их сборки. Например, по данным А.А. Маталина при испытании шпиндельных узлов четырех револьверных станков типа 136, отличающихся лишь зазорами, установленными в соединениях деталей при сборке, получили следующие значения жесткости: 36400, 20600, 122500 и 883000 Н/мм.

Рис. 6.65. Повышение жесткости технологической системы путем уменьшения числа составляющих звеньев в ее размерной цепи



Для обеспечения жесткости при закреплении деталей в машинах необходимо создавать определенные предварительные натяги. Д.Н. Решетовым рекомендованы в неподвижных соединениях натяг, обеспечивающий давление не ниже 1,47 МПа, а в подвижных соединениях — от 0,1 до 0,2 МПа.

3. Сокращение числа составляющих звеньев в размерных цепях технологических систем. Такого сокращения можно достичь, применяя приспособления, исключая или уменьшающие влияние податливости станка на точность изготавливаемой детали. Например, отверстие в корпусной детали можно расточить на расточном станке при жесткой связи инструментальной оправки со шпинделем станка (рис. 6.65, а). Но то же отверстие можно получить, используя оправку, направляемую втулками приспособления и связанную со шпинделем станка с помощью двойного шарнира Гука (рис. 6.65, б). В первом случае расстояние A_{Δ} между осью отверстия и установочной базой заготовки будет получаться с помощью размерной цепи

$A_{\Delta} = A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5 - A_6$. Во втором случае технологическая размерная цепь будет короче: $A_{\Delta} = A_1 - A_2$, а следовательно, будет меньшим и суммарное упругое перемещение в технологической системе.

4. Повышение жесткости заготовки путем применения дополнительных опор, в частности, люнетов.

5. Правильные условия и режимы эксплуатации технологической системы. К числу таковых относятся предварительный прогрев технологической системы на холостом ходу, непрерывная и равномерная подача смазочного материала нужной консистенции к трущимся деталям, постоянство усилий закрепления заготовки, механизмов и узлов системы и др.

6. Систематический надзор за оборудованием и восстановление его первоначальной жесткости регулированием зазоров в подвижных соединениях, шабрением трущихся и износившихся поверхностей, периодический ремонт.

Многообразие факторов, влияющих на жесткость технологической системы, не позволяют установить ее расчетным путем. Обычно жесткость технологической системы определяют эмпирическими методами.

Жесткость станка или отдельного узла может быть определена в результате нагружения статическими силами, аналогичными тем силам, которые будут действовать в процессе работы. Создаваемые нагрузки увеличивают от нуля до максимума, измеряют перемещение намеченных точек и строят зависимость $y = f(P)$. Статическая жесткость станков обычно в 1,2 — 1,4 раза выше, чем жесткость работающих станков, поэтому более достоверные данные о жесткости дает производственный метод.

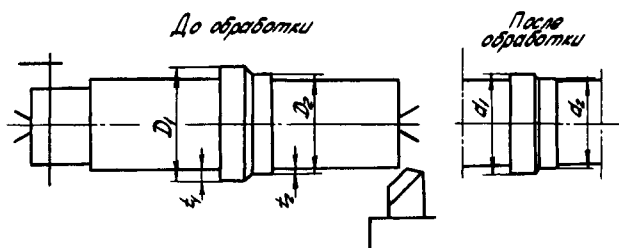
Производственный метод основан на обработке заготовки с переменным припуском и некоторых расчетах. Для испытания, например, токарного станка, берут достаточно жесткую заготовку, имеющую два пояска диаметрами D_1 и D_2 (рис. 6.66). Пояски обрабатываются за один рабочий ход при неизменных условиях (подаче, скорости и т.д.). Уступ $\Delta_d = d_1 - d_2$, образовавшийся вследствие разных глубин резания и отжатий в технологической системе, будет меньше $\Delta_3 = D_1 - D_2$.

Отношение $\varepsilon = \Delta_3 / \Delta_d$, называемое уточнением, показывает во сколько раз в результате обработки уменьшилась погрешность заготовки. Уточнение характеризует жесткость технологической системы:

$$j = \lambda C_p S^{0,75} \varepsilon,$$

где $\lambda = P_y / P_z$; S — подача, мм/об.

Рис. 6.66. Производственный метод определения жесткости станка



Описанный метод пригоден для определения жесткости не только токарных, но и станков других типов.

Вибрации технологической системы. Технологическая система с ее упругими свойствами и процессами резания, трения, процессами, протекающими в приводах, представляет собой сложную и замкнутую динамическую систему. Ее замкнутость обуславливается связями между звеньями системы, благодаря которым всякое воздействие на систему извне или возникшее в ней, воспринимается всей системой.

Часты случаи, когда процесс спокойного резания нарушается, звенья системы начинают совершать колебательные движения, не предусмотренные схемой обработки. Установившиеся колебания значительной частоты называют вибрациями.

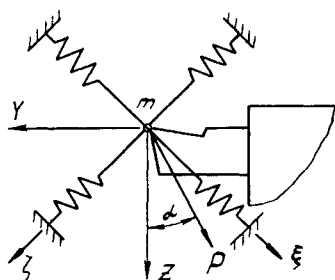
С возникновением вибраций колеблются станок, приспособление, инструмент и заготовка. На обработанной поверхности заготовки возникают волны, повышаются значения параметров шероховатости. Появление вибраций сопровождается характерным шумом, снижением стойкости инструмента и даже нарушениями соединений деталей станка и приспособления. Возникновение вибраций ограничивает производительность процесса обработки заготовок, так как вынуждает работать на пониженных скоростях, с меньшими глубинами резания и подачами инструмента.

Различают два вида вибраций: вынужденные и автоколебания.

Причинами вынужденных вибраций обычно являются колебания, передаваемые извне, динамическая неуравновешенность быстро вращающихся деталей станка, режущего инструмента или заготовки, дефекты передач в станке, наличие зазоров между деталями, прерывистый характер резания и т.п. Во всех указанных случаях возникновение вибраций легко объяснимо, так как имеется налицо возбудитель вибраций.

В отличие от вынужденных колебаний автоколебания представляют собой незатухающие колебания, вызываемые переменной силой, действующей в осуществляемом процессе. В технологической системе при обработке заготовок автоколебания порождаются процессом

Рис. 6.67. Механическая модель технологической системы с упругими связями



резания. Возникают они при определенных условиях и продолжаются, пока эти условия не будут изменены или не прекратится процесс резания.

Так как звенья технологической системы связаны между собой, то изменение состояния ее отдельных звеньев немедленно отражается на состоянии других

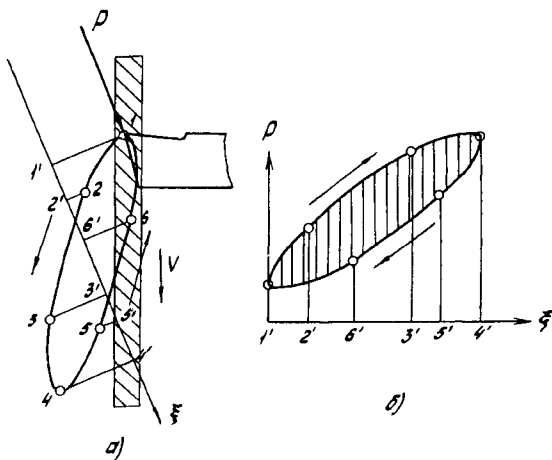
звеньев. Но каждое из них имеет свои массу, жесткость, демпфирующие свойства конструкции и материала, коэффициент трения. Поэтому каждое звено по-своему реагирует на возмущение в технологической системе. Для объяснения механизма автоколебаний задачу упрощают и в ряде случаев технологическую систему рассматривают в одной плоскости с ограниченным числом степеней свободы.

В работах В.А. Кудинова модель технологической системы представляется в виде, показанном на рис. 6.67. Заготовку рассматривают как абсолютно твердое тело, имеющее равномерное вращательное движение. Весь колебательный процесс связан только с перемещением резца. Массу m колеблющейся системы рассматривают сосредоточенной на вершине резца. Упругие связи схематично представлены в виде пружин, на которых подвешена масса m . Пружины направлены по главным осям ξ и ζ жесткости системы. Сила P резания направлена под углом α к оси Z .

В процессе работы резец, выведенный какой-либо причиной из состояния равновесия, начинает колебаться в двух направлениях. Его вершина перемещается относительно заготовки по замкнутой траектории, близкой к эллипсу (рис. 6.68, а). При движении резца в направлении действия силы P от точки 1 к точке 4 глубина резания, а следовательно, и сила резания будут больше, чем при движении резца в направлении, противоположном действию силы. Изменяющимся значениям силы резания противостоят упругие силы сопротивления технологической системы. Поэтому, когда сила резания оказывается меньше упругих сил, последние заставляют резец вернуться в исходное положение и цикл взаимодействия силы резания и упругих сил технологической системы повторится.

На рис. 6.68, б показаны перемещения вершины резца, вызываемые изменениями силы P . Площадь, ограниченная осью абсцисс и

Рис. 6.68. Траектория перемещения вершины резца (а) и изменение силы резания за один цикл колебаний (б)



верхней ветвью замкнутой кривой, представляет собой работу, расходуемую при врезании резца в материал заготовки. Площадь же, ограниченная осью абсцисс и нижней ветвью кривой, отражает работу упругих сил сопротивления. Разность этих площадей (заштрихованный участок) представляет собой работу, совершаемую за один цикл колебаний резца и поддерживающую колебательный процесс. Энергия, затрачиваемая на выполнение этой работы, получается от привода станка, сообщаящего заготовке и инструменту требуемое относительное движение.

Движение вершины резца в рассматриваемой модели описывается системой уравнений:

$$\begin{aligned} m\ddot{Z} + h_z\dot{Z} + C_z Z + C_{zy}Y &= P \cos \alpha; \\ m\ddot{Y} + h_y\dot{Y} + C_y Y + C_{yz}Z &= -P \sin \alpha, \end{aligned}$$

где m — масса колеблющейся системы, приведенная к вершине резца; h_y , h_z — коэффициенты, учитывающие силы сопротивления; C_y , C_z — коэффициенты жесткости, показывающие отношения сил, приложенных к массе, к порождаемым ими перемещениям; C_{yz} , C_{zy} — коэффициенты дополнительных упругих связей, налагаемых на массу и препятствующих ее смещению по другой оси координат по принципу взаимности, $C_{yz} = C_{zy}$; P — сила резания; α — угол между направлением силы резания и осью Z .

Решив эту систему уравнений, можно получить значения параметров, определяющих движение резца в процессе вибраций. Это движение представляет собой сумму двух колебательных движений, сдвинутых по фазе в направлении осей Y и Z :

$$y = A_y \sin \omega t;$$
$$z = A_z \sin (\omega t - \varphi),$$

где A_y , A_z — амплитуды перемещений вершины резца по соответствующим осям координат; ω — частота колебаний; φ — сдвиг фаз колебаний по разным осям.

Таким образом, процесс резания становится источником автоколебаний. В общем случае в автоколебательном процессе движения могут совершать либо резец, либо заготовка в отдельности или одновременно.

Созданию условий для возникновения автоколебаний могут способствовать и вынужденные колебания, вызываемые действием внешних сил, а также вынужденные колебания взаимодействующих звеньев технологической системы. Например, обработка заготовки, имеющей волнистую поверхность, образовавшуюся на предшествующем рабочем ходе, будет идти с периодически изменяющимися глубиной и силой резания. Это может служить причиной возникновения или повышения интенсивности уже имеющихся автоколебаний в технологической системе.

Возбудителем вибраций может быть любой фактор, нарушающий равновесие между силами резания и сопротивления в технологической системе. Таким фактором может быть изменение режимов резания, изменение твердости материала, случайные толчки и др. Одной из причин возникновения вибраций может быть неопределенность базирования деталей технологической системы. При наличии зазоров в стыках деталей (шпиндель-опоры, направляющие суппорта-каретки и т.п.) детали или сборочные единицы могут находиться в состоянии неустойчивого равновесия. Изменения значений и направлений прилагаемых к ним сил могут привести к вибрациям. Замечено например, что при обработке заготовок на универсальных и много-резцовых токарных станках уровень вибраций сокращается, если обработку вести резцами, повернутыми на 180° относительно их обычного положения. Благодаря действию силы резания в противоположном направлении обеспечивается большая определенность базирования суппорта и направляющих типа ласточкиного хвоста и шпинделя в опорах.

На интенсивность вибраций в значительной мере может влиять явление авторезонанса, т.е. совпадение частот вынужденных колебаний отдельных колеблющихся звеньев с частотой автоколебаний

Вынужденные колебания усиливают и расширяют область автоколебаний.

В связи с тем, что вибрации технологической системы оказывают большое влияние на точность изготавливаемых деталей, повышают волнистость и значения параметров шероховатости поверхностей, снижают стойкость режущего инструмента и производительность процесса обработки, необходимо стремиться к полному их устранению или по крайней мере, к расширению диапазона вибростойкости системы. Существуют следующие меры по повышению устойчивости технологической системы к вибрациям.

1. Повышение жесткости технологической системы — всех ее составляющих звеньев, включая заготовку. Увеличение жесткости повышает частоту собственных колебаний системы и уменьшает их амплитуду.

2. Уменьшение центробежных сил в технологической системе путем лучшей балансировки быстровращающихся деталей.

3. Выбор режимов резания, при которых обработка заготовки будет идти при отсутствии вибраций.

4. Выбор инструмента, геометрия которого повышает виброустойчивость технологической системы. С этой целью рекомендуется применять инструменты, имеющие углы в плане больше 45° , передние углы — положительные, малый радиус при вершине, возможно малый задний угол, не работать сильно затупившимся инструментом.

5. Изоляция технологической системы от внешних воздействий в виде колебаний других станков, молотов, работающих двигателей и т.п. Средствами изоляции служат виброопоры, на которые устанавливают станок.

6. Применение виброгасителей гидравлических, механических, ударного действия и т.д., поглощающих энергию колебательного движения и снижающих интенсивность вибраций.

В качестве примеров на рис. 6.69, а, б показаны простейшие виброгасители ударного действия, применяемые при растачивании отверстий. Принцип действия обоих виброгасителей одинаков и может быть уяснен на примере расточной скалки со встроенным грузом. На схеме (рис. 6.69, а) выделена полость скалки с грузом и отражены четыре момента в действии виброгасителя. В первоначальный момент колебательного процесса скалка и груз занимают положение, показанное вверху на рис. 6.69, а. При движении скалки в осевом направлении ее скорость сначала возрастает, а затем убывает до нуля. Увлекаемый скалкой груз со снижением ее скорости движется по инерции, пока не столкнется со стенкой полости скалки, возвращающейся в исходное положение. Затем последует касание груза левой стенки полости и т.д. При ударах груза о вибрирующую

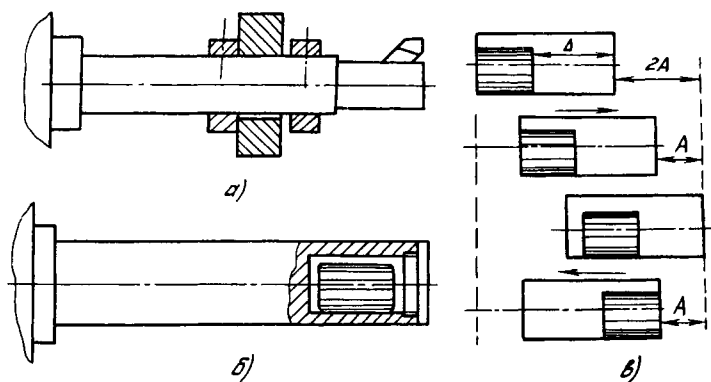


Рис. 6.69. Виброгасители ударного действия

скалку часть энергии колебаний рассеивается и их интенсивность уменьшается. При равенстве амплитуд колебаний скалки и груза вибрация скалки может прекратиться.

Размерный износ инструмента. В процессе обработки заготовок инструмент изнашивается. Интенсивность изнашивания инструмента зависит от свойств материала, из которого изготовлен инструмент, свойств материала заготовки, режимов обработки, температуры нагрева, свойств смазочно-охлаждающей жидкости и др.

При исследованиях в области резания материалов мерой износа инструмента чаще служит высота h площадки, образовавшейся на его задней поверхности (рис. 6.70, а). На точности же выдерживаемых размеров отражается износ инструмента по нормали к обрабатываемой поверхности, называемый размерным износом. Говоря в дальнейшем об износе инструмента, будем иметь в виду его размерный износ.

Протекание изнашивания инструмента во времени характеризуется кривой, показанной на рис. 6.70, б. В работе инструмента можно выделить три периода. Первый период, получивший название первоначального износа (приработки инструмента), характеризуется довольно интенсивным износом. За ним следует второй период, на протяжении которого изнашивание инструмента идет сравнительно медленно, а характеристика изнашивания во времени близка к прямой линии. Второй период называют нормальным изнашиванием инструмента. Наконец, наступает момент, когда инструмент начинает изнашиваться весьма интенсивно и выкрашивается. Третий период называют периодом затупления и катастрофического изнашивания инструмента.

При обработке заготовок больших размеров изнашивание инструмента приводит к погрешностям формы обрабатываемых поверхностей. При обтачивании длинного вала большого диаметра резец по мере перемещения от задней бабки к передней изнашивается, диаметр обрабатываемой поверхности увеличивается и поверхность получается конической. Появление конусности наблюдается также при растачивании глубоких отверстий.

При изготовлении партии сравнительно небольших деталей размерный износ режущего инструмента сопровождается смещением центра группирования $M(x)$ выдерживаемых размеров. При этом при получении охватывающих поверхностей смещение $M(x)$ подчинено той же закономерности, что и протекание размерного износа. Так, при изнашивании инструмента, характеризуемом графиком на рис. 6.70, б, точечная диаграмма получаемого размера d шейки вала будет иметь вид, показанный на рис. 6.70, в. При выдерживании охватываемых поверхностей смещение $M(x)$ будет характеризоваться кривой, являющейся обратным изображением графика изнашивания инструмента.

Точечная диаграмма, приведенная на рис. 6.70, в, показывает, что с изнашиванием инструмента на протяжении I и II периодов его работы значение мгновенного поля ω_{t_d} рассеяния размеров d практически не изменяется. При затуплении же резца следует не только интенсивное смещение центра группирования $M(x)_d$, но и увеличение значения ω_{t_d} . Причина этого явления легко объяснима.

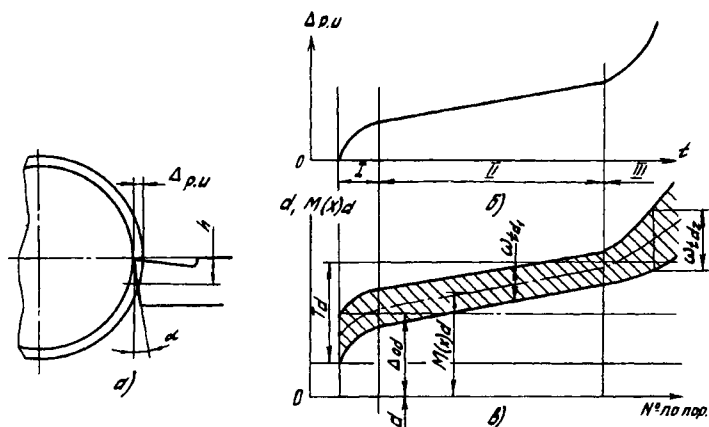


Рис. 6.70. Закономерность размерного износа инструмента и характер его проявления на точечной диаграмме

При обработке заготовок острым и затупившимся инструментом будут различными значения силы резания. В формулах, определяющих силы резания, степень затупления инструмента учитывают коэффициентом k_3 . Например, составляющая силы резания

$$P_y = C_{P_y} t^{x_{P_y}} S^{y_{P_y}} k_M k_3.$$

Для упрощения обозначим в формуле группу сомножителей, кроме k_3 через A . Получим

$$P_y = A k_3.$$

Допустим, что изменение состояния процесса обработки связано только с изменением значений P_y и что, в силу выше указанных причин, значения P_y рассеиваются в пределах

$$\omega_{P_y} = \left(P_y^{\text{нб}} - P_y^{\text{нм}} \right) k_3 = (A_2 - A_1) k_3;$$

при среднем значении P_y

$$\bar{P}_y = 0,5 (A_1 + A_2) k_3.$$

Для острого инструмента $k_3 = 1$.

Следовательно, $\omega_{P_y} = A_2 - A_1$ и $\bar{P}_y = 0,5 (A_1 + A_2)$.

С затуплением инструмента значение k_3 быстро возрастает. Предположим, что $k_3 = 1,5$. Тогда

$$\omega_{P_y} = (A_2 - A_1) 1,5 \quad \text{и} \quad \bar{P}_y = 0,5 (A_1 + A_2) 1,5.$$

Значит, с затуплением режущего инструмента увеличатся поле рассеяния и среднее значение силы резания, а это, при данной жесткости технологической системы, приведет к увеличению поля ω_y рассеяния и среднего значения \bar{y} упругих перемещений (рис. 6.71). Поскольку характеристики ω_t и $M(x)$ состояния процесса обработки непосредственно связаны со значениями ω_y и \bar{y} , то изменение значений одних сопровождается изменением значений других. Этим и объясняются изменения на точечной диаграмме, наблюдаемые в третьем периоде работы инструмента.

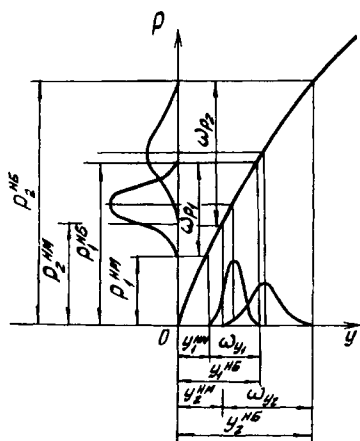


Рис. 6.71. Увеличение силы резания и упругих перемещений в процессе затупления режущего инструмента

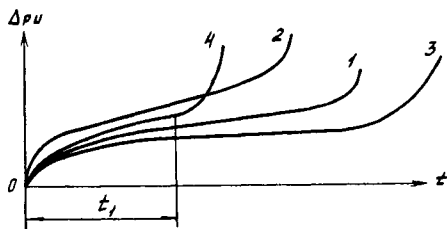


Рис. 6.72. Нестабильность характеристик стойкости режущего инструмента

Наиболее благоприятной для достижения требуемой точности изготавливаемых деталей оказывается эксплуатация инструмента на протяжении периода его нормальной работы. Поэтому период приработки и первоначального изнашивания инструмента стараются сократить, применяя доводку режущих кромок в процессе изготовления или переточки инструмента. Те смещения центра группирования $M(x)$ выдерживаемых размеров, которыми сопровождается изнашивание инструмента во втором периоде, обычно компенсируются поднастройкой станка. Использование инструмента при вступлении его в третий период изнашивания считается недопустимым ни с точки зрения обеспечения точности деталей, ни из экономических соображений, так как затупившийся инструмент быстро разрушается и не может быть восстановлен при перетачивании. Поэтому важно установить момент, когда необходимо вывести инструмент из работы и направить на перетачивание.

Выявление момента необходимости вывода инструмента из работы представляет собой сложную задачу. При большом числе факторов, оказывающих влияние на размерную стойкость инструментов, характеристики их изнашивания подвержены большому рассеянию. Даже стойкости инструментов одного типа, изготовленных единой партией из одного и того же материала, будет характеризоваться семейством сильно отличающихся кривых (1—4 на рис. 6.72). Если прибегнуть к принудительной замене инструмента, ориентируясь на самую низкую стойкость из возможных (период t_1), то значительная часть инструментов окажется недоиспользованной. При этом требуемое число инструментов возрастет и увеличатся расходы на их приобретение,

замену и перетачивание. Ориентироваться же на максимально возможную или даже среднюю стойкость нельзя, так как это привело бы к потере части инструментов из-за разрушения и неизбежности брака изготавливаемых деталей.

Проблема своевременного вывода инструмента из работы является особо острой в автоматизированном производстве. В настоящее время разработано несколько способов автоматического выявления момента затупления конкретного инструмента. В основе одного из них лежит непрерывный контроль силы резания через крутящий момент на валу главного привода станка. Превышение силой резания установленного порога служит сигналом для замены инструмента. Возможна диагностика состояния инструмента с помощью акустических датчиков. Здесь информацией о состоянии инструмента служит уровень шума, возникающего в процессе резания. С затуплением инструмента и увеличением силы резания значения характеристик колебательного процесса в технологической системе изменяются и, достигая предельного уровня, указывают на необходимость замены инструмента.

Из-за сложности условий и обилия факторов, влияющих на стойкость инструмента, размерный износ трудно поддается расчету. Хотя и имеется ряд методик расчета размерного износа, но ни одну из них нельзя считать совершенной. Фактический износ инструмента от расчетного может отличаться в десятки раз. Имея дело со случайным процессом, сложно заранее предвидеть результаты проявления многочисленных факторов и учесть их с помощью формул. Поэтому аналитический подход к определению размерного износа вряд ли может быть успешным. Влияние же размерного износа на точность и производительность процесса обработки следует уменьшать следующими практическими мерами:

- повышение качества материала, используемого для изготовления инструмента;

- повышение качества изготовления и доводки инструмента;

- рациональный выбор режимов обработки;

- стабилизация сил резания;

- сокращение вибраций в технологической системе;

- правильный подбор и применение смазочно-охлаждающих жидкостей;

- своевременная компенсация размерного износа инструмента поднастройкой технологической системы;

- применение автоматических подналадчиков;

- своевременная смена инструмента для его перетачивания;

- применение устройств диагностики состояния инструмента.

Тепловые деформации технологической системы. В процессе обработки заготовок звенья технологической системы находятся под

непрерывным воздействием различных источников теплоты. Основными источниками теплоты являются механическая работа, затрачиваемая на резание, и работа по преодолению сил трения движущимися деталями станка. К этому добавляется теплота, создаваемая работой электрических и гидравлических систем станка, теплота, сообщаемая внешней средой. Неодинаково нагретыми могут быть заготовки, поступающие на обработку.

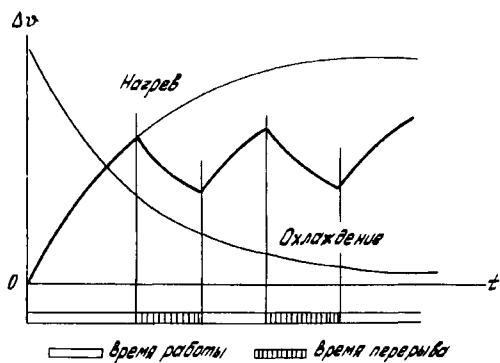
Распределение теплоты в технологической системе не равномерно. Одни ее компоненты, даже части отдельных деталей, нагреваются сильнее, другие слабее. Но поскольку все элементы технологической системы связаны между собой, они все участвуют в едином процессе теплообмена. Теплообмен может достичь уровня, когда подвод теплоты становится равным его потерям, и в технологической системе устанавливается уровень теплового равновесия. Однако чаще тепловое состояние технологической системы оказывается переменным. Поэтому значимость отклонений, вносимых тепловыми деформациями в выдерживаемые размеры, относительное положение и форму поверхностей деталей, не постоянна во времени.

Нагрев деталей станка происходит в результате работы его механизмов, гидропроводов и электроустройств. Теплота станку сообщается также смазочно-охлаждающей жидкостью, нагревательными устройствами, находящимися вблизи станка, воздухом в цехе. В наибольшей степени в станке нагревается шпиндельная бабка. Температура ее корпуса в различных точках может достигать до 30—70 °С, а шпинделя и валов — до 40—100 °С. Меньше нагревается станина. Тем не менее разность температур различных ее частей может составлять 10 °С и больше.

Соответственно уровню нагрева детали станка деформируются в трех координатных направлениях. Конец шпинделя с приспособлением, находящимся на нем, получает осевое перемещение, шпиндель поворачивается в вертикальной и горизонтальной плоскостях из-за большего нагрева передней стенки корпуса и меньшего — задней. Например, перемещения концов шпинделей в токарных станках средних размеров, возникающие вследствие тепловых деформаций деталей, составляют примерно в осевом направлении 0,1 мм, в вертикальной плоскости (вверх) 0,01—0,05 мм, в горизонтальной плоскости 0,005—0,015 мм. Первоначальную точность станка нарушают тепловые деформации станины, ходового винта и т.д.

Тепловые деформации режущего инструмента вызывает теплота, отводимая из зоны резания. Несмотря на то что доля теплоты, приходящаяся на инструмент, составляет лишь 2—5 %, ее оказывается достаточной для нагрева режущих кромок до 900 °С. Постепенно теплота распространяется по всему корпусу инструмента, нагревая

Рис. 6.73. Тепловые деформации резца Δ_0 при работе с перерывами



его и переходя в узлы станка, несущие инструмент. Тепловые деформации, возникающие при этом, могут быть значительными. Например, изменения вылета токарных резцов средних размеров в процессе обработки заготовок и на-

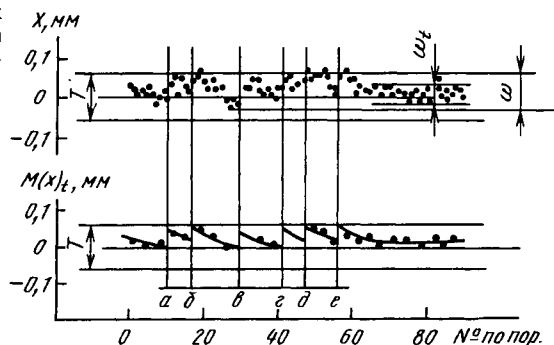
грева могут доходить до 0,05—0,06 мм. Значения тепловых деформаций режущего инструмента зависят от скорости и глубины резания, подачи и геометрии инструмента, его вылета, эффективности охлаждения и др.

Тепловые деформации станка и инструмента протекают в пространстве и приводят к отклонениям относительного положения заготовки и инструмента, приданного им в процессе настройки технологической системы. Относительные перемещения инструмента и технологических баз заготовки служат причиной непрерывного изменения значений текущего размера (размера детали, получаемого в данный момент времени). А это отражается на всех геометрических показателях точности детали: форме, относительном повороте, расстоянии и размере получаемой поверхности.

Обычно заготовки обрабатывают с какими-то перерывами в работе станка, вызываемыми, например, необходимостью замены заготовок. На рис. 6.73 приведен график, показывающий тепловые деформации токарного резца, происходящие во время обработки заготовок и остановок станка для их замены. Ритмичные изменения теплового состояния резца и его вылета влекут за собой отклонения формы обработанной поверхности детали.

Перерывы в работе могут возникать по многим причинам: обеденный перерыв, поднастройка станка, перебои в подаче заготовок и т.д. Длительность перерывов может быть различной. Всякий перерыв в работе на точечной диаграмме проявляется в виде смещения центра группирования $M(x)$ выдерживаемых размеров. На рис. 6.74 приведен участок точечной диаграммы, отражающей точность обработки заготовок на горизонтально-фрезерном станке с перерывами в работе продолжительностью 10—20 мин. Диаграмма показывает, что каждая остановка станка приводит к смещению $M(x)$ выдерживаемого

Рис. 6.74. Влияние частых перерывов в работе станка на смещение центра группирования $M(x)$:
 $a - e$ — перерывы в работе



размера. Из-за этого при сравнительно небольшом мгновенном поле ω_t рассеяния размеров деталей поле ω рассеяния размеров в партии деталей оказывается значительным.

На рис. 6.75 показаны смещения центра группирования $M(x)$, возникающие за время обеденных перерывов продолжительностью 30 мин.

Часть теплоты, выделяющейся в зоне резания, передается в заготовку. В зависимости от способа и режимов обработки отвод теплоты в заготовку может быть различным. Например, при токарной обработке он может составлять до 10 % в общем тепловом балансе, а при сверлении доходить до 55 %. Следовательно, в процессе обработки заготовка может значительно нагреваться и деформироваться. При этом, чем массивнее заготовка, тем, при прочих равных условиях, меньше ее тепловые деформации. Наибольшие деформации возникают при обработке заготовок тонкостенных деталей.

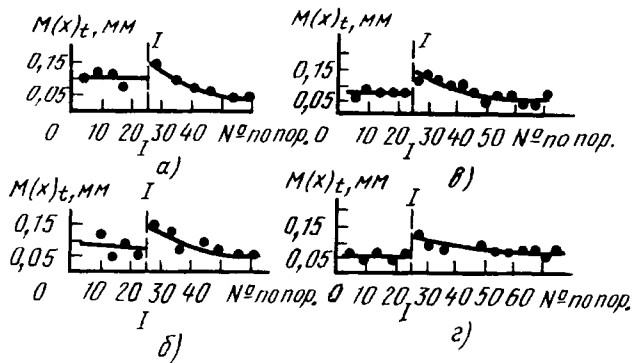


Рис. 6.75. Смещения центра группирования $M(x)$ к концу обеденных перерывов:
 $I-I$ — обеденный перерыв в работе

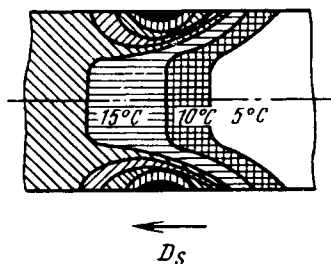


Рис. 6.76. Тепловое поле, движущееся впереди источника теплоты в поверхностных слоях заготовки

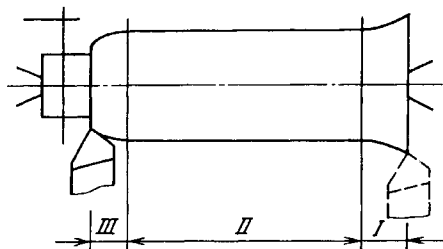


Рис. 6.77. Искажение формы поверхности детали под воздействием теплового поля: I — участок, образовавшийся при нарастающем нагреве заготовки и резца в начале обработки; II — участок, возникший при установившемся тепловом поле; III — участок при ухудшении отвода теплоты в конце обработки

В большинстве случаев поверхность заготовки обрабатывают постепенно, поэтому источник теплоты в зоне резания непрерывно (например, при точении или сверлении) или с перерывами (при строгании) перемещается по обрабатываемой поверхности заготовки. На рис. 6.76 показано тепловое поле цилиндрической поверхности заготовки, создаваемое вдоль ее оси резцом, обрабатывающим заготовку по винтовой линии. Впереди источника теплоты в поверхностных слоях заготовки движется опережающая волна тепла. При подходе резца к концу заготовки ее нагрев существенно возрастет. Объясняется это тем, что на границе двух сред (металл — воздух) ухудшается теплопроводность среды и теряет свою скорость теплоотдача. Материал заготовки при этом нагревается и расширяется сильнее, и с заготовкой удаляется больший слой материала. Вместе с изменениями температуры заготовки на различных ее участках изменяется нагрев резца и его вылет. В результате после обработки и охлаждения заготовки ее поверхность приобретает форму, показанную на рис. 6.77.

Теплота, получаемая заготовкой в процессе обработки, распределяется неравномерно в ее теле. Например, при сверлении отверстия в плите, установленной на столе станка, верхняя часть плиты будет нагреваться сильнее, чем нижняя. К этому приводит различие условий отвода теплоты: теплообмен через поверхность, контактирующую со столом, будет проходить значительно активнее, чем теплообмен через верхнюю поверхность и воздушную среду. Тепловое поле по

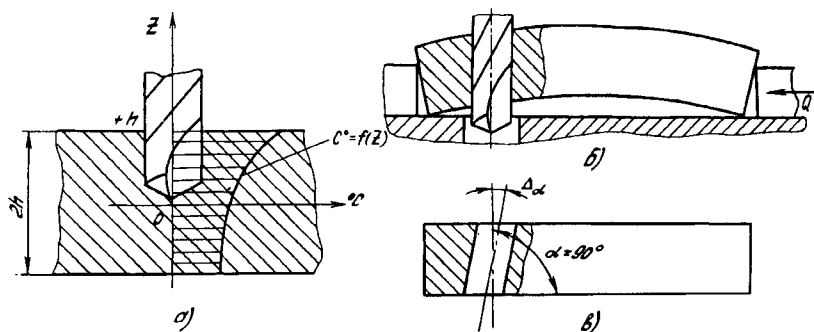


Рис. 6.78. Тепловое деформирование пластины при сверлении отверстия

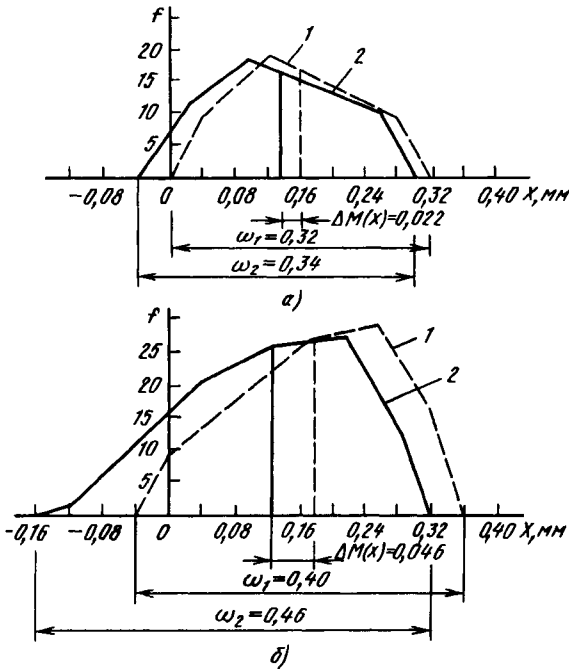
высоте заготовки будет подчинено экспоненциальной зависимости (рис. 6.78, а) и вызовет ее коробление (рис. 6.78, б). Ось полученного отверстия при охлаждении заготовки отклонится от перпендикулярности к нижней поверхности плиты (рис. 6.78, в). В результате экспериментов над плитами размером $250 \times 120 \times 24$ мм установлено, что эти отклонения составляли $0,015$ — $0,023$ мм на длине 100 мм.

Нужно отметить, что при закреплении заготовок практически невозможно создать такую силу Q , которая препятствовала бы их расширению и короблению. Расчеты показали, что в условиях вышеупомянутого эксперимента сила Q должна быть не менее 960 кН.

Причиной снижения точности деталей может быть разная степень нагрева заготовок, поступающих на обработку. Нестабильность температуры заготовок особо присуща массовому производству, где такт изготовления деталей составляет несколько минут или даже доли минуты. Различие условий обработки заготовок на предшествующих операциях, нарушение очередности их транспортирования с предшествующих операций на данную и другое приводят к тому, что на обработку попадают и слабо и сильно нагретые заготовки. Получая дополнительный нагрев при обработке на данной операции, заготовки будут иметь различную усадку при остывании. В результате этого произойдет не только смещение $M(x)$, но и увеличение значения поля ω рассеяния размеров в партии деталей.

В качестве примера на рис. 6.79 приведены кривые распределения отклонения одного из размеров корпусной детали, измеренных сразу же после снятия деталей со станка (кривая 1) и после охлаждения тех же деталей до температуры воздуха в цехе (кривая 2). В первом случае (рис. 6.79, а) для обработки брали заготовки, имеющие температуру воздуха в цехе; их усадка сместила центр группирования

Рис. 6.79. Усадка деталей по мере их остывания



$M(x)$ на 0,022 мм и увеличила поле ω рассеяния на 0,02 мм. Во втором случае (рис. 6.79, б) обрабатывали заготовки, взятые с конвейера и не прошедшие выдержку; смещение $M(x)$ в этом случае составило 0,046 мм, а значение ω возросло на 0,06 мм.

В обеспечении требуемой точности деталей тепловые деформации технологической системы и собственно заготовок приобретают особую значимость на отделочных операциях, где колебания припусков, а, следовательно, сил резания и упругих перемещений оказываются незначительными. Роль тепловых деформаций становится первостепенной и требуются особые меры по снижению ее. Основными мероприятиями по уменьшению тепловых деформаций являются следующие:

применение искусственного охлаждения режущего инструмента и заготовки;

поддержание колебаний температуры воздуха в цехе в узких пределах, создание термоконстантных цехов;

введение в конструкцию станков дополнительных устройств, стабилизирующих температуру станин, стоек и корпусных деталей;

прогревание станков на холостом ходу до начала работы;

сокращение перерывов в работе технологической системы до минимума;

настройка технологической системы на рабочий настроечный размер, учитывающий смещения $M(x)$ из-за тепловых деформаций технологической системы и усадки деталей по их остыванию;

встраивание в станки автоматических подналадчиков технологических систем;

увеличение скорости резания, благодаря чему доля теплоты, отводимой в стружку, становится большей;

шлифование заготовок кругами большего диаметра;

установка перед ответственными операциями термостатических устройств, выравнивающих температуру заготовок, поступающих на обработку;

чередование операций в технологическом процессе с большим и меньшим нагревом заготовок;

применение транспортных средств, обеспечивающих соблюдение очередности в прохождении заготовками операций технологического процесса.

Влияние работающего на точность изготавливаемых деталей. Технологический процесс изготовления деталей не может быть выполнен без участия человека. В зависимости от уровня автоматизации технологического оборудования это участие может иметь различные формы.

При изготовлении деталей на универсальных неавтоматизированных станках в функции рабочего входит установка заготовки, настройка станка, осуществление технологического процесса обработки заготовки и контроль точности изготовленной детали. Успешное решение широкого круга задач, возложенных на рабочего, зависит от его квалификации, состояния (степени утомления, настроения и т.п.), состояния оборудования и условий, в которых ему приходится работать. Однако определяющим фактором все же будет квалификация рабочего.

На точности и характере распределения отклонений размеров деталей, изготовленных на универсальных станках, отражается постоянная боязнь рабочего получить неисправимый брак. Этот психологический фактор вынуждает рабочего придерживаться при изготовлении деталей "безопасных" границ полей допусков. Такой границей для охватываемого размера является верхний предельный размер (верхнее предельное отклонение), для охватываемого размера — нижний предельный размер (нижнее предельное отклонение). Распределения отклонений получаемых размеров оказываются несимметричными со смещениями центров группирования $M(x)$ в сторону безопасных границ полей допусков (рис. 6.80).

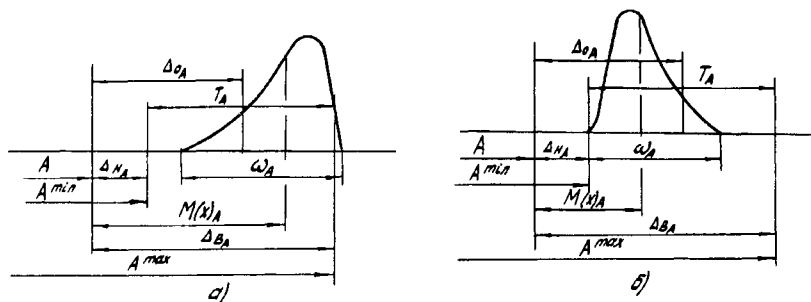


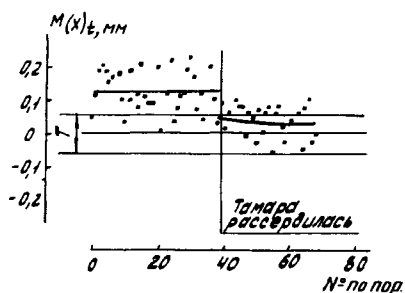
Рис. 6.80. Характер распределения отклонений размеров деталей, изготовленных на универсальных станках:
 а — охватывающего размера; б — охватываемого размера

При изготовлении деталей на настроенных полуавтоматических станках функции рабочего сводятся к установке заготовки в приспособлении, включению станка и съему заготовки или изготовленной детали. Настройку станка чаще осуществляет наладчик, он же контролирует точность полученных размеров. Несмотря на то, что роль квалификации рабочего здесь сведена до минимума, его влияние на точность изготавливаемых деталей может быть весьма существенным.

Показательным в этом отношении может быть случай, наблюдавшийся на Подольском механическом заводе. На одной из операций технологического процесса изготовления платформ швейных машин было установлено наблюдение за ходом процесса обработки. Наблюдение сопровождалось построением точечной диаграммы, отражавшей во времени точность выдерживаемого размера. В какой-то момент работница, обслуживающая станок, перешла на резервный станок, и наблюдения прервались. Возвратить работницу к станку, взятому под наблюдение, оказалось под силу лишь начальнику цеха в результате резкого разговора. За время простоя со станком ничего не делалось. Однако возвращение работницы с испорченным настроением к станку вызвало резкое смещение центра группирования $M(x)$ в сторону уменьшения размеров и некоторое уменьшение мгновенного ω_t поля рассеяния (рис. 6.81). Изменения, произошедшие на точечной диаграмме, в тот момент можно было связать только с испорченным настроением работницы. Поэтому на точечной диаграмме в момент скачка значения $M(x)$ была сделана отметка "Тамара рассердилась".

Разобраться в загадочном явлении помог другой случай, когда станок попеременно были вынуждены обслуживать две работницы.

Рис. 6.81. Проявление на точечной диаграмме испортившегося настроения работницы



Условно назовем их *A* и *B*. Первая из них проработала на своем рабочем месте более 7 лет и была вправе считаться квалифицированной. Второй была молодая работница, вставшая к станку всего неделю назад. Результаты их работы отражены на точечной диаграмме (рис. 6.82). Они явно лучше у молодой работницы, чем у проработавшей на станке несколько лет.

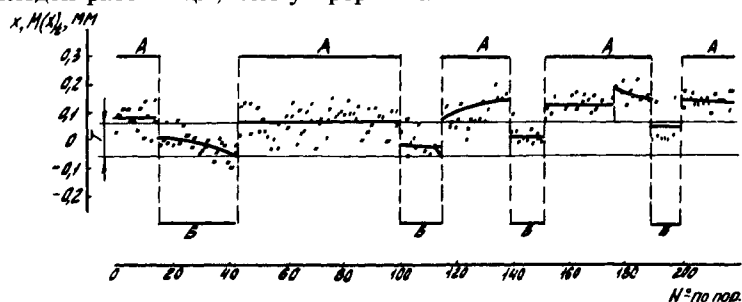


Рис. 6.82. Отражение на точечной диаграмме результатов работы двух работниц

Анализ действий работниц привел к выводу, что влиять на точность деталей они могут только через установку заготовок. Конструкция приспособления исключала возможность возникновения погрешности базирования заготовки. Следовательно, влияние могло оказывать лишь закрепление заготовки, производимое вручную. С помощью динамометрических устройств удалось выявить силу P_3 закрепления заготовок, прикладываемую каждой из работниц. Полученные данные приведены в табл. 6.5.

6.5. Влияние силы закрепления заготовки на точность детали

Рабочий	Отклонение P_3 , Н		Поле ω_{P_3} рассеяния P_3 , Н	Среднее значение \bar{P}_3 , Н
	нижнее	верхнее		
А	380	780	400	570
Б	740	790	50	780

Выяснилось, что слабое и нестабильное закрепление заготовок в приспособлении работницей *A* не обеспечивало надежного базирования заготовок в приспособлении. Под действием сил резания слабо закрепленные заготовки смещались за счет зазоров, имевшихся в подвижных соединениях деталей приспособления, и это отразилось на характеристиках точности изготовленных деталей. В отличие от этого молодая работница старалась и имела лучшие результаты.

Прежде чем осудить работницу *A* за недоброкачественную работу, нелишне проанализировать условия ее труда. Выполнение изо дня в день на протяжении 7 лет одной и той же монотонной работы приводит к потере интереса к ней и равнодушию. Душевный спад усиливается физическим утомлением, так как изготовление 1,5 тысяч деталей в смену связано с перекидкой заготовок общей массой свыше 15 т. Условия работы не могли способствовать получению качественной продукции.

Видимо, в том же состоянии находилась и работница по имени Тамара, когда прекратила работу на станке, взятом под наблюдение. Приказ начальника цеха взволновал ее, и возбуждение обратилось в большую силу закрепления заготовок, что привело к смещению $M(x)$ и уменьшению значения ω_r . Дальнейшее смещение $M(x)$ было следствием тепловых деформаций технологической системы, остывшей за время простоя.

При изготовлении деталей на автоматических станках рабочий из непосредственного исполнителя технологического процесса превращается в руководителя им. В обязанности работающего вменяются настройка станка, наблюдение за ходом технологического процесса и устранение отклонений в нем. Выполнение этих функций требует всесторонних знаний и навыков, т.е. более квалифицированного труда. Например, оператор, обслуживающий многооперационный фрезерно-расточной станок с программным управлением, одновременно должен владеть квалификацией фрезеровщика, сверловщика, расточника, до тонкостей знать программное управление и устройство станка. Большая умственная нагрузка на работающего требует создания соответствующих условий труда для плодотворной не только физической, но и умственной деятельности работающего.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

качество изготавливаемых деталей находится в прямой зависимости как от квалификации, так и от степени утомления и душевного состояния работающего;

создание благоприятных условий для труда, облегчающих физическую и умственную деятельность работающего, является одним из средств повышения качества продукции и производительности труда;

в массовом и крупносерийном производстве при выполнении однообразной и монотонной работы следует периодически делать перестановку рабочих с одних операций на другие, создавая тем самым разнообразие в их труде;

при конструировании приспособлений следует избегать ручных зажимов и применять пневматические, гидравлические, электромеханические зажимы, обеспечивающие стабильность сил закрепления заготовок.

Автоматическое управление точностью изготавливаемых деталей

Ранее (см. п. 1.4) было выяснено, что состояние процесса по интересующему показателю отражает случайная функция $X(t)$. Ее теоретическими характеристиками являются математическое ожидание $m_x(t)$, дисперсия $D_x(t)$ и корреляционная функция $K_x(t_i, t_j)$. Практическими характеристиками, соответствующими $m_x(t)$ и $D_x(t)$, являются среднее значение $\bar{X}(t)$ случайной функции и мгновенное поле ω_t рассеяния возможных значений показателя при данном значении аргумента t . Величины $m_x(t)$ или $\bar{X}(t)$ показывают изменения значения центра группирования $M(x)_t$ случайной функции в зависимости от t .

Процесс изготовления деталей протекает во времени, поэтому характеристики $M(x)_t$ и ω_t состояния процесса по любому показателю точности деталей являются функциями времени t . Значение $M(x)_t$ во времени изменяется под совокупным воздействием систематических факторов, значение ω_t — под действием случайных факторов. Эти изменения применительно к размеру A деталей наглядно отображает произвольно построенная точечная диаграмма, показанная на рис. 6.83.

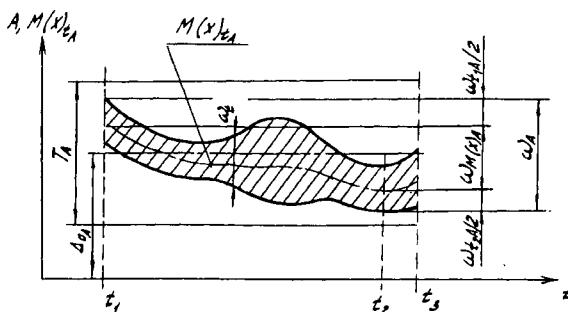


Рис. 6.83. Диаграмма и характеристики состояния процесса обработки заготовок применительно к точности выдерживаемого размера A

Поле рассеяния размера A в партии деталей, изготовленных в интервале $t_1 - t_3$ времени

$$\omega_A = \omega_{M(x)_{t_A}} + 0,5\omega_{t_1 A} + 0,5\omega_{t_2 A},$$

где $\omega_{M(x)_{t_A}}$ — поле рассеяния значений $M(x)_A$ за период $t_1 - t_2$; $0,5\omega_{t_1 A}$, $0,5\omega_{t_2 A}$ — половины значений мгновенных полей рассеяния в моменты, когда функция $M(x)_{t_A}$ имела крайние значения.

Поскольку значение ω_t во времени подвержено изменениям, то в общем случае

$$\omega = \omega_{M(x)_t} + \omega_t^{\text{нб}}.$$

Требуемая точность размера A в партии деталей обеспечивается при условии, что поле ω_A рассеяния находится в границах поля допуска T_A . Следовательно, для получения размера A с заданной точностью необходимо удерживать во времени изменения значений функций $M(x)_{t_A}$ и ω_{t_A} в установленных пределах, т.е. управлять точностью процесса изготовления деталей.

Управление точностью может быть ручным и автоматическим. В первом случае наблюдение за процессом и внесение нужных коррекций возлагается на рабочего или наладчика. Во втором случае требуемую точность обеспечивают автоматические устройства, придаваемые станку.

В зависимости от специфики процесса обработки, активности действующих факторов и пр. задачи автоматического управления могут быть различными. Они могут сводиться к следующему:

выравниванию во времени значений функций $M(x)_t$, т.е. к управлению положением центра группирования;

уменьшению значений функции ω_t и их колебаний;

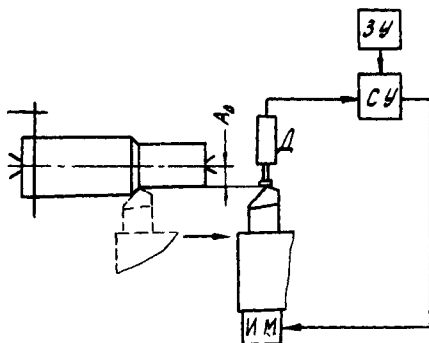
одновременному воздействию на значения функций $M(x)_t$ и ω_t .

Автоматическое управление значениями характеристик состояния процесса может осуществляться путем воздействия либо на единичные факторы, либо на совокупность факторов. Эффективность управления во многом зависит от длительности интервала времени между моментом получения сигнала об отклонении и компенсацией отклонения.

Управление положением центра группирования размеров деталей. Если изменения значений $M(x)_t$ вызывается систематическим

Рис. 6.84. Принципиальная схема автоматической компенсации размерного износа режущего инструмента

фактором, доминирующим над другими систематическими факторами, то управление процессом можно осуществлять только по этому фактору. Примером такого управления может служить компенсация размерного износа инструмента; если степень его влияния на точность изготавливаемых деталей оказывается высокой. Принципиальная схема управления показана на рис. 6.84. После обработки очередной заготовки суппорт с резцом отводится в позицию измерения вылета резца, ведущегося прибором D . Результат измерения в сравнивающем устройстве $СУ$ сопоставляется с опорным сигналом, поступающим из задающего устройства $ЗУ$. Величина $\Delta_{р.и}$ рассогласования сигналов устраняется исполнительным механизмом $ИМ$, корректирующим размер A_c статической настройки станка на величину $|\Delta_k| = |\Delta_{р.и}|$. Таким образом,



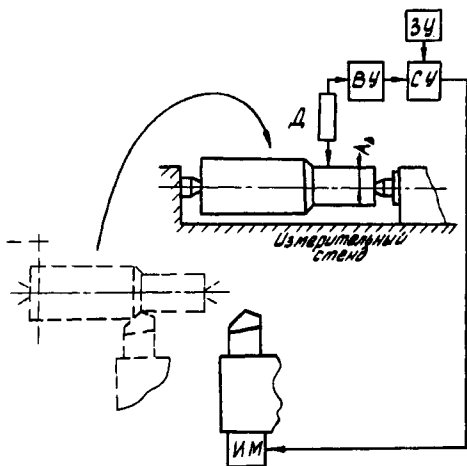
$$A_{\Delta} = A_c \pm \Delta_{р.и} \mp \Delta_k.$$

При управлении положением центра группирования по такой схеме попутно с размерным износом компенсируются тепловые деформации резца, изменяющие его вылет. Наблюдение за размерным износом инструмента может вестись и другими способами. Например, при устойчивой зависимости износа от температуры резца можно измерять его нагрев и компенсировать износ по данным косвенных наблюдений.

При желании охватить управлением группу систематических факторов, вызывающих смещение центра группирования относительно рабочего настроечного размера A_p , необходимо найти такой показатель, который учитывал бы проявление всех этих факторов. Например, если смещение центра группирования вызывают размерный износ инструмента, тепловые деформации технологической системы, изменения средних значений припуска и твердости заготовок и т.п., то их совокупное влияние отражает групповой средний размер $A_{гр.ср}$. Управление процессом может строиться по схеме, приведенной на рис. 6.85.

Рис. 6.85. Принципиальная схема автоматической поднастройки технологической системы

Каждая заготовка по завершении обработки устанавливается на измерительном стенде, где прибором D измеряется полученный размер. Результаты измерения последовательно направляются в устройство $BУ$, вычисляющее для группы из n деталей размер $A_{гр.ср}$. Значение $A_{гр.ср}$ передается в устройство $СУ$, сравнивающее его с опорным сигналом, сообщаемым задающим устройством $ЗУ$. Сопоставление может вестись либо со значением рабочего настроечного размера A_p , либо с предельно допустимыми значениями $A_{гр.ср}$. При отклонении $A_{гр.ср}$ от A_p , считаемого предельно допустимым, или при приближении его значения к одной из контрольных границ устройство $СУ$ подает сигнал, а исполнительный механизм $ИМ$ осуществляет поднастройку станка.



Если в качестве опорного будет избран сигнал, эквивалентный значению A_p , то суть автоматической поднастройки будет сводиться к следующему:

$$A_{\Delta} = A_p \pm \Delta_{M(x)} \mp \Delta_k,$$

$$|\Delta_k| = |\Delta_{M(x)}|,$$

где $\Delta_{M(x)}$ — смещение центра группирования относительно размера A_p ; Δ_k — коррекция положения центра группирования.

Автоматические средства управления положением центра группирования получаемых размеров или их отклонений получили название автоматических подналадчиков.

Управление мгновенным полем ω_r рассеяния размеров. Причинами рассеяния значений получаемых размеров могут быть погрешности, допущенные при установке заготовок, упругие перемещения в технологической системе, разный уровень нагрева заготовок и тепловых деформаций при остывании и др. Эти факторы, в своей совокупности определяющие мгновенное поле ω_r рассеяния размеров,

не имеют обобщающего показателя, за счет изменения которого было бы можно компенсировать их проявление. Поэтому сокращение значений ω_1 возможно лишь путем уменьшения влияния каждого фактора в отдельности.

Для уменьшения погрешности установки заготовки в приспособлении или на станке необходимо до обработки определить положение, занимаемое ею в системе координат технологической системы и компенсировать имеющееся отклонение. Для линейного размера может быть достаточной компенсация отклонения в положении заготовки в направлении этого размера за счет изменения размера A_c статической настройки технологической системы. Для повышения точности относительного поворота поверхностей (их осей) детали необходима уже компенсация отклонений положения заготовки в пространстве.

Сложность управления погрешностью установки заготовки заключается главным образом в выявлении ее значения. Судить о положении заготовки можно либо по положению комплекта технологических баз, на которые она установлена, либо косвенно по положению каких-то других поверхностей.

Произвести непосредственные измерения, показывающие положение технологических баз, технически трудно, так как доступ к ним закрыт. Использование специально созданных поверхностей требует предварительной аттестации их положения относительно технологических баз с точностью на порядок выше, чем сама погрешность установки. Подготовка специальных поверхностей, высокоточные измерения их положения, вычислительные операции, необходимые для перехода к оценке положения комплекта технологических баз, сильно усложняют технологический процесс изготовления детали. Поэтому в практике машиностроения пока известны лишь отдельные примеры автоматической компенсации погрешностей установки заготовок.

Одним из них может служить автоматическая установка заготовок крупногабаритных лопаток (длиной 500—1500 мм) паровых турбин на первой операции, где обрабатывают комплект технологических баз. Сокращение погрешности установки заготовки здесь связано с одной из задач, решаемых на первой операции, — распределением припусков на поверхностях, подлежащих обработке. В данном случае таковыми являются рабочие поверхности лопатки.

Штампованную заготовку лопатки устанавливают по поверхностям призматического хвостовика и технологической бобышки на столе механизма ориентации, приданного специальному станку и имеющего шесть степеней свободы (рис. 6.86). По сигналам индуктивных датчиков, ощупывающих рабочую поверхность лопатки в

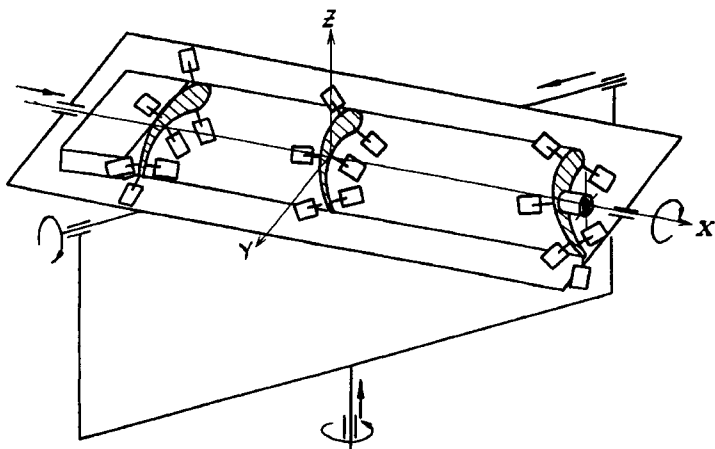


Рис. 6.86. Автоматическая установка заготовки лопатки турбины, обеспечивающая равномерное распределение припуска на лопасти

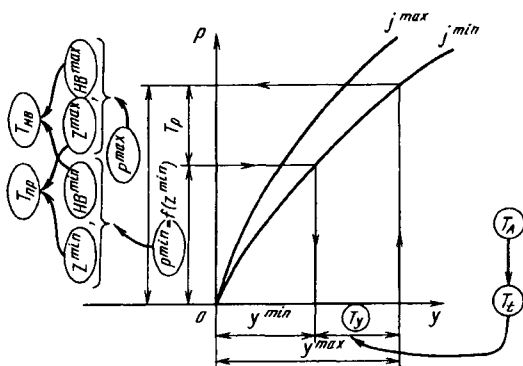
трех сечениях, стол с заготовкой перемещается в пространстве до тех пор, пока не достигнет положения, при котором припуск на обработку рабочих поверхностей будет распределен равномерно. В этом положении заготовка, уже базируемая по рабочим поверхностям лопатки, закрепляется и производится обработка поверхностей призматического хвостовика и центрального отверстия в технологической бобышке. Установленная таким образом связь технологических баз с необработанными рабочими поверхностями лопатки обеспечивает при обработке последних равномерность припуска с точностью 0,2—0,4 мм.

Как было указано выше, упругие перемещения в технологической системе порождаются силой резания, значение которой, в числе прочих величин, зависит от припуска и твердости материала заготовки. Колебания припусков и твердости приводят к рассеянию значений силы резания, а последнее — к рассеянию значений упругих перемещений. Посредником в преобразовании силы резания в упругое перемещение является жесткость технологической системы.

Управление упругими перемещениями может быть осуществлено одним из трех путей.

Первый путь сводится к ограничению допусками $T_{пр}$ и $T_{НВ}$ отклонений припусков и твердости заготовок и соблюдению этих отклонений в установленных пределах.

Рис. 6.87. Переход от допуска на размер A детали к допускам, ограничивающим отклонения припуска и твердости заготовок



Расчет допусков может быть проведен следующим образом. Частью T_t допуска T_A на выдерживаемый размер A ограничивается мгновенное поле ω_t рассеяния размеров. А исходя из допуска T_t ограничиваются допуском T_y упругие перемещения в технологической системе. Ориентируясь на минимально возможную жесткость технологической системы и минимальный припуск z^{\min} , далее должен быть сделан переход к предельным значениям P^{\min} и P^{\max} :

$$P^{\min} = f(z^{\min}); \quad y^{\min} = P^{\min} / j^{\min};$$

$$y^{\max} = y^{\min} + T_y; \quad P^{\max} = y^{\max} j^{\min}.$$

Имея их значения и используя формулу, определяющую силу резания, при выбранных значениях коэффициента C_p , подачи S , скорости v резания, следует перейти к предельным значениям припусков и твердости заготовок, т.е. к допускам $T_{пр}$ и T_{HB} . Схема перехода к этим допускам от допуска T_A показана на рис. 6.87.

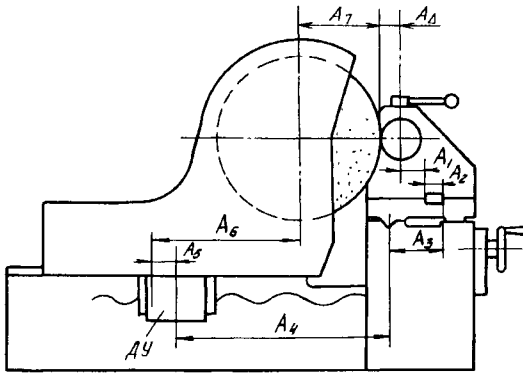
Нахождение отклонений припусков и твердости заготовок в допустимых пределах может быть гарантировано при наличии контроля точности заготовок по этим показателям. Оценка качества и выбраковка могут быть автоматизированы.

Второй путь управления упругими перемещениями заключается в компенсации возникшего упругого перемещения y (отклонения ΔA_d размера A_d) за счет изменения размера A_c статической настройки технологической системы на величину ΔA_c .

Возвращаясь к трем этапам достижения требуемой точности размера A_Δ и уравнению

$$A_\Delta = -A_y + A_c + A_d,$$

Рис. 6.88. Круглошлифовальный станок, оснащенный динамометрическим устройством ДУ



сущность управления можно представить так:

$$A_{\Delta} = -A_y + (A_c \mp \Delta A_c) + (A_d \pm \Delta A_d);$$

$$|\Delta A_c| = |\Delta A_d|.$$

Для того чтобы скомпенсировать отклонение ΔA_d , идя этим путем, необходимо: выявить значение возникшего отклонения ΔA_d , переместить заготовку относительно режущего инструмента (или наоборот) на величину ΔA_c в направлении, обратном отклонению ΔA_d .

Поскольку действие силы резания распространяется на все составляющие звенья размерной цепи технологической системы, то отклонение размера любого звена могло бы быть показателем отклонения ΔA_d . Но отклонения размеров звеньев относительно невелики, поэтому их измерение сопряжено с некоторыми трудностями. Гораздо легче и надежнее судить об упругих перемещениях в технологической системе по изменению под действием силы резания размера специально встроенного в станок динамометрического устройства.

На рис. 6.88 показана технологическая размерная цепь круглошлифовального станка, в которой звено A_5 образовано специальным динамометрическим устройством. Динамометрическое устройство, сконструированное Л.В. Худобиным (рис. 6.89), состоит из втулки 1, при вращении которой (с помощью конического колеса) перемещается бабка шлифовального круга относительно неподвижного винта. Втулка установлена в кронштейне 3, с помощью которого устройство присоединено к бабке. Втулка через две тарельчатые пружины 2 упирается в кронштейн 3. В торец втулки вставлен стакан 4 с шариком, в который упирается рычаг 5, закрепленный на кронштейне. Индуктивный датчик 6, также закрепленный на кронштейне, упирается сердечником в плечо рычага.

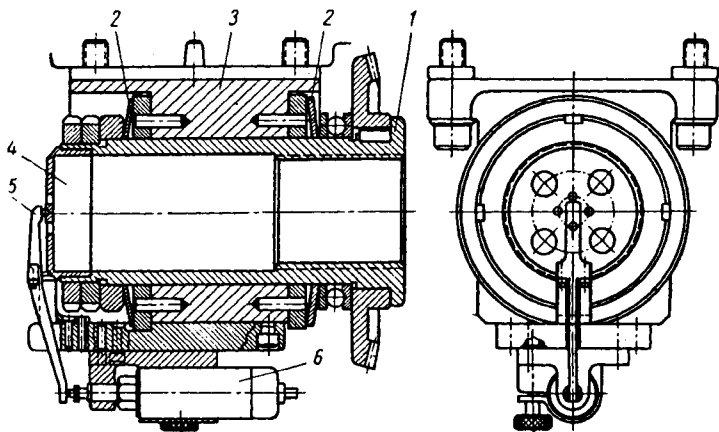


Рис. 6.89. Динамометрическое устройство

При изменении силы резания бабка шлифовального круга перемещается вместе с кронштейном 3 относительно неподвижной втулки за счет деформирования пружин 2. Перемещение измеряет индуктивный датчик, преобразующий его в электрические сигналы. Электрический сигнал, связанный с упругим перемещением на замыкающем звене предварительной тарировкой устройства, указывает отклонение ΔA_d , возникшее в технологической системе и подлежащее компенсации внесением поправки ΔA_c в размер статической настройки.

Отклонение ΔA_d могло бы быть установлено непосредственным измерением расстояния между режущими кромками инструмента и технологическими базами заготовки. Однако в подавляющем большинстве случаев сделать это не удастся и приходится прибегать к косвенным методам измерения.

Например, на горизонтально-фрезерном станке (рис. 6.90) с помощью датчиков D_1 и D_2 измеряется расстояние A_2 между торцом диска 1, связанного с фрезой, и линейкой 2, установленной на приспособлении 3. Поскольку отклонения звена $A_2 - B_\Delta$ представляют собой сумму отклонений только составляющих звеньев B_{i-1} технологической размерной цепи, то при управлении останутся не учтенными отклонения звеньев A_1 и A_3 , которые в сумме составят отклонение выдерживаемого размера A_Δ детали 4.

В выявлении отклонения ΔA_d таким способом есть еще одна особенность. Так как отклонения звеньев B_{i-1} могут быть вызваны не

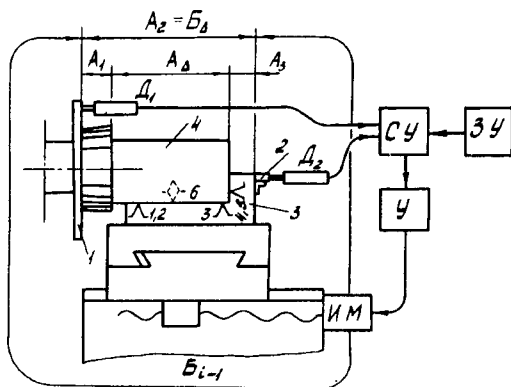


Рис. 6.90. Косвенное измерение отклонения размера динамической настройки на горизонтально-фрезерном станке

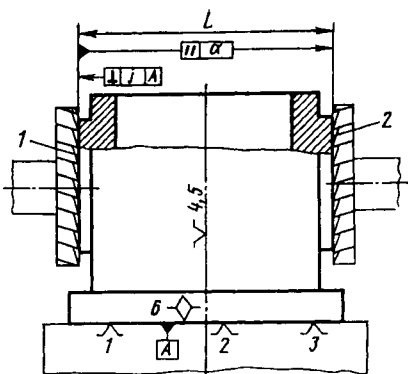
только силой резания, но и другими факторами, то измеренное отклонение звена $A_2 = B_d$, помимо упругого перемещения, будут составлять отклонения других видов, например, тепловые деформации.

Для внесения поправок в размер A_c статической настройки необходимо непрерывно изменять расстояние между режущими кромками инструмента и технологическими базами заготовки. Поправки обычно малы, что вызывает трудности в их реализации. Дело в том, что изменение указанного расстояния связано с перемещением узлов станка значительной массы. При переходе от состояния покоя к состоянию движения изменяется коэффициент трения, и перемещение сопровождается скачком. Значение скачка существенно влияет на точность внесения поправки в размер A_c . Поэтому вопрос создания малых плавных и точных перемещений представляет собой сложную, но технически разрешимую задачу.

Примером автоматического управления упругими перемещениями за счет изменения размера A_c может служить система, схема которой приведена на рис. 6.90. Информация об отклонениях размера A_2 , обнаруживаемых датчиками D_1 и D_2 , в виде электрических сигналов, направляется в суммирующее устройство $СУ$, где сопоставляется с опорным сигналом, поступающим из задающего устройства $ЗУ$. При рассогласовании сигналов вырабатывается управляющий сигнал, направляемый через усилитель $У$ в исполнительное устройство $ИМ$. Последний через механизм поперечной подачи перемещает стол с заготовкой, гася отклонение ΔA_d .

Управление упругими перемещениями путем внесения поправки в размер A_c приводит не только к уменьшению мгновенного поля ω , рассеяния размеров, но и уменьшает рассеяние значений центра группирования $M(x)_r$. Это происходит в той мере, в какой система управления компенсирует проявление систематических факторов. Например, система с динамометрическим устройством (см. рис. 6.88) компенсирует изменения средних значений припуска и твердости

Рис. 6.91. Эскиз обработки заготовки корпусной детали



заготовок. Система же, показанная на рис. 6.90, помимо этого, учитывает и тепловые деформации на звеньях B_{i-1} .

Эффективность автоматического управления путем внесения поправок в размер A_c может быть показана на примере автоматической системы (АС), стабилизирующей в пространстве относительное положение режущего инструмента и поверхностей станка, определяющих положение заготовки. Такой АС был оснащен двухшпиндельный продольно-фрезерный станок 6604, обрабатывающий заготовки корпусных деталей (рис. 6.91).

Теоретическими предпосылками к созданию АС были следующие положения. Причинами возникновения в процессе обработки заготовки погрешностей обрабатываемых поверхностей являются непрерывные изменения в пространстве относительного положения вершин режущих кромок инструмента и технологических баз заготовки. Стабилизация в пространстве их положения должна уменьшить влияние упругих перемещений, тепловых деформаций, геометрической неточности станка и одновременно повысить точность формы, относительного поворота обработанных поверхностей и расстояния между ними. Для стабилизации положения инструментов относительно баз заготовки необходимо установить связи между координатными плоскостями $X_1O_1Z_1$, $X_2O_2Z_2$, совмещенными с зубьями фрез, и координатной плоскостью $X'O'Z'$ системы $O'X'Y'Z'$, построенной на базах заготовки (рис. 6.92). Для установления необходимых связей между координатными плоскостями и оценки

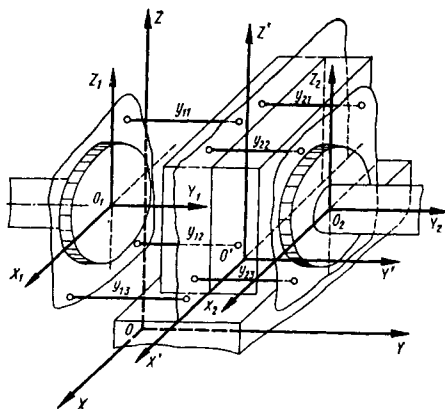


Рис. 6.92. Связи координатных систем:

$OXYZ$ — независимой; $O'X'Y'Z'$ — заготовки; $O_1X_1Y_1Z_1$ и $O_2X_2Y_2Z_2$ — инструментов; y_{ij} — стабилизируемые параметры

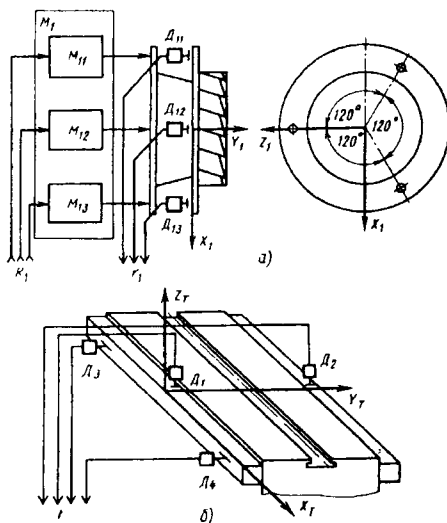


Рис. 6.93. Расположение датчиков D_{ij} на фрезе (а) и $D_1 - D_4$ на столе (б) станка:

M_1 — исполнительное устройство; M_{ij} — механизмы малых перемещений; r и r_1 — сигналы, поступающие в вычислительное устройство соответственно от датчиков стола станка и одной из фрез; R_1 — сигналы управляющего воздействия к исполнительному устройству M_1

их относительного положения были использованы теоретические выкладки, изложенные в п. 5.3.

Так как непосредственный контроль положения координатных плоскостей $X'O'Z'$, $X_1O_1Z_1$ и $X_2O_2Z_2$ осуществить оказалось технически невоз-

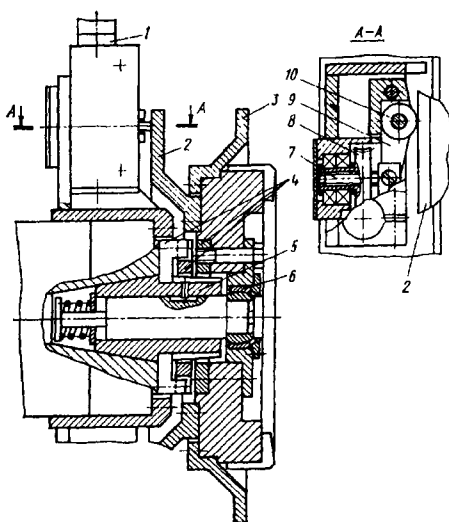
можно, то был применен косвенный метод измерений. Система координат $O'X'Y'Z'$, связанная со столом станка и косвенно с заготовкой, была материализована с помощью линеек, закрепленных на боковых поверхностях стола. Координатные плоскости $X_1O_1Z_1$ и $X_2O_2Z_2$ были воспроизведены поверхностями дисков, установленных на корпусах фрез. Схема размещения датчиков, контролирующих положение стола и одной из фрез, показана на рис. 6.93. Положение стола и каждой из фрез определялось относительно независимой системы $OXYZ$, реализованной на станке в виде рамной конструкции. Компенсация отклонений положения стола и фрез в пространстве велась за счет изменения положения фрез. Для этого потребовалось обеспечить каждой из фрез три степени свободы относительно шпинделей: возможность поворота вокруг двух осей и перемещения в осевом направлении.

Гибкие связи фрез со шпинделями станка были созданы с помощью специальных устройств крепления фрез (рис. 6.94). Устройство имеет шаровую опору, центрирующую фрезу, и силовой диск, посредством которого фреза опирается на ролики исполнительных механизмов, размещенных на пиноли станка.

Процесс автоматического управления заключается в следующем. Перед началом обработки с помощью задающих устройств фрезам придается исходное положение. В процессе обработки положение каждой фрезы оценивается тремя, а положение стола — четырьмя датчиками. Сигналы от датчиков поступают в вычислительное

Рис. 6.94. Исполнительное устройство:

1 — электродвигатель; 2 — силовой диск; 3 — измерительный диск; 4 — торцовая кулачковая муфта; 5 — конический хвостовик; 6 — шаровая опора; 7 — винтовая пара; 8 — червячная пара; 9 — рычажный механизм; 10 — ролик



устройство, преобразующее их в отклонения расстояний между противоположными точками, расположенными на поверхностях дисков и координатной плоскости $X'O'Z'$. При рассогласовании значений этих расстояний с заданными значениями в действие приводятся исполнительные механизмы, восстанавливающие в пространстве требуемое положение фрез относительно стола.

На рис. 6.95 приведены профилограммы обработанных поверхностей деталей, показывающие реакцию АС на изменение припусков и непрямолинейность движения стола. С помощью АС на станке сравнительно низкой точности оказалось возможным сократить поле рассеяния значений расстояний между противоположными точками профрезерованных поверхностей

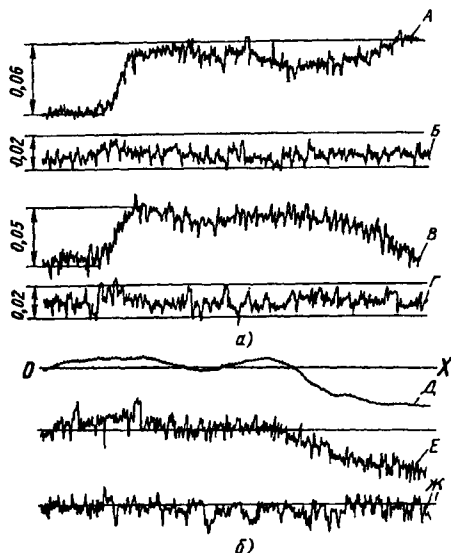


Рис. 6.95. Профилограммы поверхностей деталей:

a — обработанных при наличии ступени в припуске в 1 мм: *A, B* — на поверхности 2 (см. рис. 6.91); *B, Г* — на поверхности 1; *A, B* — при отключенной АС; *B, Г* — с включенной АС; *б* — обработанных с постоянным припуском: *E* — при отключенной АС; *Ж* — с включенной АС; *Д* — отклонение от параллельности перемещения стола оси OX

детали от 0,02 до 0,04 мм, т.е. одновременно и существенно повысить точность формы, относительного поворота поверхностей и расстояния между ними.

Полученные результаты подводят к важному выводу о том, что, наряду с традиционным, существует и другой путь создания прецизионного станка. Высокая степень прецизионности может быть достигнута не только за счет точности самого станка, но и с помощью АС, стабилизирующей в пространстве относительное положение режущего инструмента и исполнительных поверхностей станка, несущих заготовку. Расчеты показывают, что этот путь построения прецизионного станка является более экономичным.

Третий путь управления упругими перемещениями заключается в том, что возникшее отклонение ΔA_d компенсируется путем внесения поправки $\Delta A'_d$ в размер A_d динамической настройки технологической системы:

$$A_d = -A_y + A_c + (A_d \pm \Delta A_d \mp \Delta A'_d);$$
$$|\Delta A'_d| = |\Delta A_d|.$$

Размер A_d зависит от силы резания и жесткости технологической системы. Следовательно, при данной жесткости, управлять значением A_d можно, изменяя силу резания P .

Из анализа формулы силы резания (см. п. 6.2) следует, что наиболее подходящей величиной для управления силой резания является продольная подача S , так как глубину резания, определяемую припуском, изменить нельзя; не представляется также возможным пока и изменение в процессе обработки твердости заготовки.

Использование подачи в качестве параметра управления силой резания дает возможность вести управление за счет упругих перемещений самих звеньев технологической системы. Механизм управления при этом оказывается плавным и очень чувствительным.

Возможные или возникающие в процессе обработки изменения силы резания могут быть выявлены на следующих этапах:

до обработки путем измерений припуска и твердости материала у конкретной заготовки и расчета силы резания;

путем наблюдений за упругими перемещениями какого-либо звена в технологической системе или с помощью специально встроенного динамометрического устройства (см. рис. 6.89), динамометрических резцедержателей и др.;

измерением крутящего момента (или силы тока) в двигателе главного привода станка.

В первом случае до обработки заготовки в соответствии с результатами расчета корректируется установленная подача S . На протяжении обработки заготовки подача остается неизменной, и, следовательно, изменения силы резания в ходе ее обработки не охватываются управлением. Весь комплекс работ, связанных с определением и изменением подачи, трудно поддается автоматизации.

Во втором и третьем случаях, при наличии на станке механизма бесступенчатой подачи, автоматическое управление силой резания осуществляется сравнительно просто. Всякому отклонению силы резания от заданного значения противопоставляется изменение подачи. В результате на протяжении обработки всей заготовки сила резания, а вместе с ней и упругие перемещения оказываются стабильными.

Отклонение $\Delta A'_d$ можно компенсировать не только за счет изменения подачи, но и изменениями в процессе обработки заготовки геометрии резания или жесткости технологической системы. Изменения подачи или жесткости по программе позволяют компенсировать отклонения формы обрабатываемой поверхности, причиной которых служит переменная жесткость технологической системы по длине заготовки. Подробные описания различных способов и систем автоматического управления даны в книге [1].

Автоматическое управление упругими перемещениями дает возможность:

1) повысить точность обработки за счет сокращения значения мгновенного поля ω_t рассеяния в 2—5 раз и более, а также попутного уменьшения рассеяния значений $M(x)_t$;

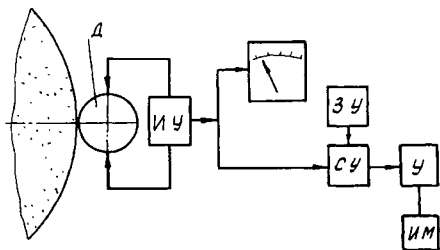
2) увеличить производительность процесса обработки на 30 — 200 %; особо значимо увеличение производительности при наличии системы автоматического управления подачей; такие системы разрешают вести обработку всегда при наивысших режимах, обеспечивают безопасность работы, предотвращают поломку инструмента;

3) существенно повысить стойкость режущего инструмента;

4) лучшим образом подготовить заготовку к последующей обработке, за счет чего повысить точность и производительность последующих операций.

Одновременное управление значениями функций $M(x)_t$ и ω_t . Информация, которую несет текущий размер обрабатываемой поверхности заготовки, отражает совокупное проявление и систематических и случайных факторов. Поэтому, если в процессе обработки заготовки измерять текущий размер и автоматически реагировать на отклонения от его заданного значения, то управлением будут охвачены обе группы факторов, действующих в процессе обработки. Следо-

Рис. 6.96. Устройство активного контроля



вательно, такое управление будет одновременно стабилизировать значения $M(x)_t$ и уменьшать мгновенное поле ω_t рассеяния выдерживаемого размера изготовляемых деталей. Управ-

ление по результатам измерения текущего размера получило название активного контроля. В зависимости от решаемой задачи активный контроль можно вести по-разному.

Задачу активного контроля может составлять выявление момента, когда значение получаемого размера вошло в поле допуска и необходимо прекратить обработку. Станок может быть остановлен вручную по показанию прибора или автоматически. В последнем случае сигнал о достижении нужного значения размера направляется в устройство, отключающее подачу режущего инструмента и возвращающее его в исходное положение. Устройствами активного контроля подобного типа оснащают станки, ведущие многопроходную обработку, например, кругло-, внутри- и плоскошлифовальные станки.

На рис. 6.96 представлена структурная схема одного из устройств активного контроля. Щуповой механизм измерительного устройства ИУ воспринимает изменения контролируемого размера детали D . Информация о значении текущего размера направляется в шкальный прибор и в сравнивающее устройство СУ, где сигнал сопоставляется с опорным сигналом, поступающим из заданного устройства ЗУ. По достижении требуемого результата устройство СУ через усилитель У направляет сигнал к исполнительному механизму ИМ станка, прекращающему процесс обработки.

При однопроходной обработке активный контроль может быть использован для выявления отклонения текущего размера в сечении заготовки, в котором обрабатывается заготовка в данный момент времени. В сочетании с системой автоматического управления, вносящей поправку либо в размер A_c , либо в размер A_d , активный контроль может обеспечить повышение не только точности размера, но и формы обрабатываемой поверхности. По такому принципу строят системы автоматического управления, например, для токарных станков, предназначенных для обработки крупногабаритных валов.

В качестве измерительных средств при активном контроле применяют механические, электроконтактные, пневматические, индуктивные, лазерные и другие виды приборов. Выбор вида прибора зависит

от решаемой задачи и технологического оборудования, используемого для обработки. Более подробно с устройствами активного контроля можно ознакомиться в книге [2].

Точность размеров деталей, выдерживаемых с применением активного контроля, зависит от точности установки заготовок и средств измерения, настройки технологической системы, точностных возможностей средств измерения и механизмов, осуществляющих коррекцию. Большое значение имеет разрыв во времени между моментом обнаружения отклонения и его компенсацией. Причинами запаздывания управляющего воздействия являются неизбежное смещение щупов измерительного устройства относительно сечения, в котором получается размер, и инерционность системы автоматического управления, в том числе и средств измерения.

Устройства активного контроля могут сочетаться с автоматическими средствами, с помощью которых решаются задачи, связанные не только с обеспечением точности. Например, оснащение круглошлифовального станка системой автоматического управления силой резания с динамометрическим устройством (см. рис. 6.88 и 6.89) обеспечивает его работу на черновых проходах с наивысшей производительностью. Слежение же за изменением размера заготовки на этапе отделочной обработки (выхаживании) и своевременное прекращение обработки выполняет устройство активного контроля. Таким образом, при наличии такой комбинированной системы автоматического управления одновременно достигаются две цели: обеспечивается требуемая точность детали и повышается производительность процесса обработки.

Описанная система автоматического управления была создана в Мосстанкине Л.В. Худобиным в 1957 г. Она была первой в мире автоматической системой для металлообрабатывающих станков и получила впоследствии название системы адаптивного управления. Системы адаптивного управления широко применяют в отечественном и зарубежном станкостроении.

Обеспечение требуемой точности детали на операции технологического процесса

Стремление к обеспечению точности изготавливаемых деталей на стадии разработки технологии привело к расчетам ожидаемой точности на операциях. Идея таких расчетов была выдвинута в 50-е годы А.П. Соколовским и впоследствии развита Н.А. Бородачевым и др.

Расчеты ожидаемой точности сыграли положительную роль в изучении структуры погрешностей, возникающих при обработке. Однако из-за пассивности они не получили распространения на практике. По существу такие расчеты сводятся к прогнозу точности. От технолога же, разрабатывающего технологию, требуется не про-

гнозирование процесса, а сознательное и активное принятие мер и выбор средств для обеспечения требуемой точности деталей, т.е. управление процессом.

Выявление необходимых мер и средств опирается на расчет допусков, которыми должны быть ограничены отклонения, вызываемые систематическими и случайными факторами. Исходным в расчете должно быть неравенство: $T \geq \omega$, где T — поле допуска на выдерживаемый размер; ω — поле рассеяния отклонений размера в партии деталей.

Так как $\omega = \omega_{M(x)_t} + \omega_t^{нб}$, то

$$T \geq T_{M(x)_t} + T_t,$$

где $T_{M(x)_t}$ — часть поля T допуска, выделяемая для ограничения действия систематических факторов; T_t — часть поля T допуска, ограничивающая действие случайных факторов.

Имея представление о составе и степени влияния систематических факторов, частями поля допуска $T_{M(x)_t}$ нужно ограничить следующие факторы:

$$T_{M(x)_t} \geq T_n + T_{\Delta_{\theta_1}} + T_{\Delta_{\theta_2}} + T_{\bar{y}_{np}} + T_{\bar{y}_{HB}} + T_{p.и},$$

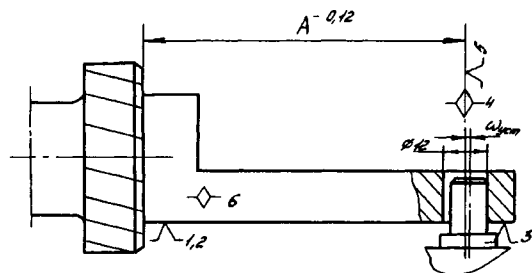
где T_n — поле допуска, ограничивающее погрешность настройки станка; $T_{\Delta_{\theta_1}}$ и $T_{\Delta_{\theta_2}}$ — поля допусков, ограничивающие смещения $M(x)$ из-за тепловых деформаций технологической системы и самих заготовок при остывании; $T_{\bar{y}_{np}}$ и $T_{\bar{y}_{HB}}$ — поля допусков, ограничивающие смещение $M(x)$ из-за изменений средних значений припусков и твердости заготовок, преобразуемых в изменение упругого перемещения \bar{y} ; $T_{p.и}$ — поле допуска, ограничивающее размерный износ инструмента.

Центр группирования $M(x)$ должен быть совмещен в момент настройки станка с рабочим настроечным размером A_p , значение которого должно быть определено в соответствии с изложенным в п. 6.2.

Аналогичным путем необходимо ограничить и действие случайных факторов, исходя из поля допуска T_t :

$$T_t \geq T_{уст} + T_y + T_{з.и} + T'_{\Delta_{\theta_2}} + \dots + T_i,$$

Рис. 6.97. Технологический эскиз фрезерования стоек детали



где T_i — поля допусков, соответственно ограничивающие погрешность установки заготовки, рассеяние упругих перемещений в технологи-

ческой системе, приращение мгновенного поля ω_t рассеяния из-за затупления режущего инструмента, приращение ω_t при остывании заготовок и проявления других случайных факторов.

Суммирование полей допусков, ограничивающих как систематические, так и случайные отклонения, может быть проведено с использованием метода расчета на максимум-минимум и вероятностного метода. Применение последнего более желательно, так как он в полной мере учитывает вероятностные свойства явлений, сопутствующих выполнению операции.

После установления допусков, ограничивающих действие каждого фактора, необходимо наметить меры и выбрать средства, обеспечивающие соблюдение допусков. В каждом отдельном случае меры и средства сугубо индивидуальны. При разработке их следует учитывать особенности изготавливаемой детали, требования к точности выдерживаемых размеров, объем выпуска деталей, свойства заготовки и принятую схему базирования, особенности способа обработки, точностные возможности станка, свойства применяемых инструментов и пр. К сожалению, пока нет возможности сделать надлежащие обобщения и дать четкие указания, как следует действовать в каждом отдельном случае, поэтому пояснить изложенное пока можно лишь на конкретном примере.

Пример. Обработать на горизонтально-фрезерном станке стойки детали, материал детали чугун СЧ18 (рис. 6.97). Детали обрабатывают в три смены с тактом 40 с/дет. Фреза: диаметр $D = 105$ мм, число зубьев $z = 28$, оснащена твердым сплавом ВКЗ. В результате обработки стоек требуется получить расстояние A с точностью $T_A = 0,12$ мм, $\Delta_{0_A} = -0,06$ мм, при схеме базирования заготовки, показанной на рис. 6.97.

При ограничении смещений центра группирования и мгновенного поля рассеяния следует учесть, что управлять значениями функции $M(x)_i$ в данном случае проще, чем мгновенным полем ω_t рассеяния размеров. Поэтому целесообразно большую часть поля допуска T_A выделить для ограничения ω_t и установить $T_{M(x)_A} = 0,04$ мм и $T_A = 0,08$ мм:

$$T_A = T_{M(x)_A} + T_A = 0,04 + 0,08 = 0,12 \text{ мм.}$$

Если установленный допуск $T_{M(x),A}$ распределить по крайней мере между шестью систематическими факторами (см. формулу, приведенную выше), то на долю каждого из них в среднем пришлось бы

$$T_{cp} = T_{M(x),A} / 6 = 0,04/6 = 0,007 \text{ мм.}$$

При таком среднем допуске будет трудно добиться стабильного положения центра группирования, так как при заданной интенсивности работы станка активность факторов будет высокой. Выход из положения может дать автоматический подналадчик. Если станок оснастить автоматическим подналадчиком, то он будет компенсировать любое смещение центра группирования, за исключением допущенного при настройке станка и сопровождающего остывание изготовленных деталей. Следует учесть и собственную неточность работы подналадчика.

Приняв решение об оснащении станка автоматическим подналадчиком, можно поле $T_{M(x),A} = 0,04$ мм допуска распределить следующим образом: установить допуск T_n , ограничивающий погрешность настройки станка, равным 0,02 мм, и 0,02 мм выделить для ограничения отклонений в работе подналадчика.

Выдвинутое требование к точности настройки станка обязывает выбрать метод и средства измерения, используемые при настройке и поднастройке, соответствующие полю допуска $T_n = 0,02$ мм. Например, при выборе средств измерения необходимо исходить из того, что погрешность измерения не должна превышать $T_{изм} = 0,2 \cdot 0,02 = 0,004$ мм.

Требование к точности работы подналадчика должно быть адресовано к его конструкторам и изготовителям.

Что касается смещения $M(x)$ вследствие тепловой усадки изготовленных деталей, то оно может быть учтено при определении значения рабочего настроечного размера A_p . Так как автоматический подналадчик способен компенсировать смещения центра группирования относительно A_p любого знака, то целесообразно принять

$$A_p = A_{cp} + \Delta_{\delta_2},$$

где Δ_{δ_2} — поправка, учитывающая смещение $M(x)$ при остывании изготовленных деталей.

Наблюдениями за аналогичной операцией установлено, что $\Delta_{\delta_2} = 0,05$ мм.

Наиболее значимыми при обработке заготовок при избранных схеме базирования, интенсивности процесса и качестве заготовок несомненно будут погрешности установки заготовок и упругие перемещения в технологической системе. Исходя из $T_{zA} = 0,08$ мм, ограничим их следующими допусками: $T_{уст} = 0,05$ мм, $T_y = 0,02$ мм. Оставшиеся в резерве 0,01 мм предназначим для компенсации действия других случайных факторов.

Погрешность установки заготовки, влияющая на отклонение размера A , представляет собой смещение оси базового отверстия относительно оси установочного пальца в приспособлении, зависящее от зазора между ними. Для того, чтобы удерживать погрешность установки $T_{уст} = 0,05$ мм, необходимо иметь зазор Δ между отверстием и пальцем не более 0,025 мм. Для этого требуется: обрабатывать отверстие с предельными отклонениями по $H_5(12^{+0,008}$ мм); изготовлять установочный палец с предельными отклонениями рабочей поверхности по $h_5(12_{-0,008}$ мм); не допускать износа установочного пальца свыше 0,01 мм.

Сопроводив последний вывод наблюдением за износом установочного пальца, можно назначить срок его замены. Например, наблюдения за одной из аналогичных операций показали, что износ каленого установочного пальца составляет 0,01 мм в

течение недели эксплуатации станка. Следовательно, замену установочного пальца в приспособлении нужно проводить 1 раз в неделю.

Влияние неравномерности силы закрепления заготовки в приспособлении на погрешность установки может быть сведено до минимума применением пневматического или другого вида устройства закрепления, обеспечивающего постоянство силы зажима. При соблюдении указанных условий можно ожидать, что погрешность установки не будет превышать установленный допуск

$$\omega_{уст} = 2\Delta = 2(0,008 + 0,008 + 0,01) = 0,052 \text{ мм} = T_{уст}.$$

Ограничение упругих перемещений в технологической системе 0,02 мм обязывает при заданной жесткости системы и избранных режимах обработки установить допуски, ограничивающие колебания припусков и твердости заготовок. Переход от T_y к этим величинам может быть осуществлен по схеме, приведенной на рис. 6.87.

Допуская в целях упрощения вести расчеты не по эквивалентной силе P_y , а по составляющей P_y силы резания, будем иметь $P_y = yj$.

Пусть жесткость используемой технологической системы $j = 10$ кН/мм. Тогда, допуск, ограничивающий колебание силы P_y ,

$$T_{P_y} = T_y j = 0,02 \cdot 10 = 0,2 \text{ кН} = 200 \text{ Н}.$$

Если считать, что при фрезеровании P_y составляет 0,4 окружной силы P_z , то

$$T_{P_z} = T_{P_y} / 0,4 = 200 / 0,4 = 500 \text{ Н}.$$

При фрезеровании

$$P_z = C_p t^{0,9} B^{1,14} z S_z^{0,72} D^{-1,14} k_{HB}.$$

Значения коэффициента C_p и подачи S_z выбирают по справочнику режимов резания, ширина $B = 80$ мм обрабатываемой поверхности задана чертежом детали, число z зубьев и диаметр D фрезы определены ее выбором.

При избранных значениях указанных величин будем иметь два уравнения:

$$P_z^{\min} = 50(t^{\min})^{0,9} \cdot 80^{1,14} \cdot 28 \cdot 0,017^{0,72} \cdot 105^{-1,14} \cdot k_{HB}^{\min}; \quad (6.1)$$

$$P_z^{\max} = 50(t^{\max})^{0,9} \cdot 80^{1,14} \cdot 28 \cdot 0,017^{0,72} \cdot 105^{-1,14} \cdot k_{HB}^{\max}, \quad (6.2)$$

каждое из которых содержит по два неизвестных. Чтобы решить их, установим предельные значения твердости материала заготовок, равные 180 и 220 НВ, при которых коэффициент k_{HB} будет иметь соответственно значения 0,94 и 1,20.

Минимальная глубина резания равна минимальному припуску на обработку, определяемому расчетом по методике, изложенной в гл. 10. Допустим, что в результате расчета получено $t^{\min} = 0,45$ мм. Знание t^{\min} дает возможность определить из уравнения (6.1) значение P_z^{\min} . Оно будет равно 250 Н. Следовательно,

$$P_z^{\max} = P_z^{\min} + T_{P_z} = 250 + 500 = 750 \text{ Н}.$$

Решая уравнение (6.2) относительно t^{\max} , найдем верхнее предельное значение припуска: $t^{\max} = 1,00$ мм. Таким образом, расчетом установлено, что колебание припуска у заготовок допустимо в пределах $0,45 - 1,00$ мм.

Если бы расчет привел к жестким допускам на отклонения твердости и припуска у заготовок, что усложнило бы технологические процессы получения литой заготовки и ее обработки, то следовало бы станок оснастить системой автоматического управления упругими перемещениями и расширить допуски на твердость и припуск до приемлемых значений.

В расчетах не было учтено влияние на поле рассеяния значений размера A колебаний температуры заготовок, поступающих на обработку. Одинаковая степень нагрева заготовок может быть обеспечена специальной установкой, стабилизирующей их температуру.

Таким образом, в результате простейших расчетов можно определить комплекс условий и средств, необходимых для обеспечения требуемой точности детали при выполнении операции технологического процесса. Так, для обеспечения требуемой точности размера $A_{-0,12}$ в рассмотренном примере фрезерования стоек у заготовки необходимо выполнение следующего комплекса условий и средств:

1) оснащение станка автоматическим подналадчиком, обеспечивающим подналадку с точностью $0,02$ мм;

2) настройку станка нужно вести на размер $A_p = A_{cp} + \Delta_{\theta_2}$; требуемая точность настройки — $0,02$ мм; требуемая точность средств измерения, применяемых при настройке, $0,004$ мм;

3) базирование заготовки в приспособлении по установочному пальцу должно осуществляться по посадке $12H_5/h_5$;

4) замена установочного пальца в приспособлении 1 раз в неделю;

5) припуск на обработку должен находиться в пределах $0,45 - 1,00$ мм;

6) твердость материала заготовок — $180-220$ НВ;

7) в поток должна быть встроена установка, выравнивающая температуру заготовок;

8) приспособление должно быть оснащено пневматическим (гидравлическим) зажимом.

Пример подтверждает ранее высказанную мысль: не прогнозированием ожидаемой точности обработки должен заниматься технолог, проектирующий технологический процесс, а изысканием мероприятий и средств, с помощью которых требуемая точность детали будет обеспечиваться.

Контрольные вопросы

1. В чем проявляются связи свойств материалов в технологическом процессе изготовления деталей?
2. Каковы воздействия на свойства материала заготовок процессов литья и пластического деформирования?
3. Какие процессы применяют для улучшения структуры и зернистости материала заготовок, полученных методами литья и пластического деформирования?
4. Каковы воздействия на свойства материала заготовок процессов резания?
5. Каковы воздействия на свойства материала деталей процессов поверхностно-пластического деформирования?
6. Как изменяют свойства материала стальных заготовок процессы термической обработки (отжиг, нормализация, закалка, отпуск)?
7. Каковы цель и результаты химико-термической обработки заготовок?
8. Какие воздействия на свойства материала заготовок оказывают процессы физико-химической обработки?
9. В чем сущность принципиального подхода к обеспечению требуемых свойств материала изготавливаемых деталей?
10. Какие меры предпринимают для уменьшения влияния на качество деталей остаточных напряжений в материале?
11. Как формируются отклонения формы и относительного положения обрабатываемой поверхности заготовки на операции технологического процесса изготовления детали?
12. Как возникает погрешность установки заготовки?
13. Что представляет собой и как возникает погрешность статической настройки технологической системы?
14. Каково происхождение погрешности динамической настройки технологической системы?
15. Какие требования к размерам технологических баз должны соблюдаться при их выборе?
16. Что представляет собой неопределенность базирования заготовки и как уменьшить ее влияние на точность изготавливаемой детали?
17. К чему приводит смена технологических баз?
18. В каких случаях приходится отступать от использования в качестве технологических баз поверхностей, от которых заданы размеры детали? К чему вынуждают такие отступления?
19. В чем сущность и преимущества принципа "единства баз"?
20. В чем сущность, преимущества и недостатки цепного, координатного и комбинированного методов получения и измерения размеров детали?
21. Каковы различия в формировании отклонений у размеров четырех типов в процессе обработки заготовки?
22. Что представляет собой рабочий настроенный размер A_p и как его определяют?
23. В чем состоит цель настройки технологической системы для обработки партии заготовок?
24. Как судить о правильности настройки технологической системы?
25. Перечислить и изложить сущность методов настройки технологической системы по пробным деталям.
26. Какими способами можно облегчить проведение настройки технологической системы?
27. Как выявить момент, когда технологическая система нуждается в поднастройке?

28. Какие методы достижения требуемой точности замыкающего звена могут быть использованы при поднастройке технологической системы?

29. Каким образом непостоянства припусков и твердости заготовок преобразуются в рассеяние упругих перемещений в технологической системе?

30. Каковы пути повышения жесткости технологической системы?

31. Каково происхождение вибраций технологической системы?

32. Как размерный износ инструмента влияет на точность изготавливаемых деталей?

33. Как тепловые деформации технологической системы влияют на точность изготавливаемых деталей?

34. Каково влияние работающего на точность изготавливаемых деталей?

35. В чем заключается принципиальный подход к автоматическому управлению точностью изготавливаемых деталей?

36. Какими способами можно стабилизировать во времени значения центра группирования $M(x)$ и уменьшать значения мгновенного поля рассеяния ω_t ?

37. Как предусмотреть при разработке технологического процесса средства, обеспечивающие требуемую точность изготавливаемых деталей?

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Информационный процесс является важнейшей составной частью производственного процесса изготовления машины. Информация в производственном процессе — это средство, приводящее, поддерживающее и направляющее его действие. Любой, самый малый шаг в производственном процессе совершается в результате осуществления информационного процесса.

7.1. СВОЙСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СВЯЗИ

Технологическая информация всегда конкретна и наделена определенным смыслом. Технологическая информация есть указание о том, что, как, когда, с помощью чего надо сделать, или это сообщение о результатах совершенного действия, изменении первоначальных условий, сообщении каких-то данных и т.п.

Семантические свойства технологической информации делают отличной ее трактовку от трактовки, даваемой теорией информации и теоретической кибернетикой.

Процесс изготовления машины в целом, так же как и ее составных частей, подразделяют на этапы подготовки производства, осуществление производственного процесса и оценку достигнутых результатов.

На этапе подготовки производства разрабатывают технологию изготовления машины и ее деталей, избирают или проектируют и изготавливают производственное оборудование, технологическую оснастку и инструменты, решают задачи планирования, организации производства и управления производственным процессом.

Осуществление производственного процесса включает выполнение ряда технологических процессов изготовления деталей и сборки машины, доставку к рабочим местам технологической документации, заготовок, сборочных единиц, инструментов, технологической оснастки, складирование заготовок и продукции, контроль хода производственного процесса и управление им и прочие действия, обеспечивающие функционирование производственного процесса и изготовление качественной продукции.

В процессе контроля качества машины и деталей выявляют соответствие фактических значений показателей качества требуемым значениям. Делают это путем измерений, испытаний и т.д.

Каждому этапу процесса изготовления машины присущи свои информационные процессы, цели и содержание которых обусловлены спецификой решаемых задач. Однако на любом этапе при решении конкретных технологических и производственных задач ведут сбор, запрос, поиск, хранение, переработку, преобразование, передачу и использование информации.

Например, на этапе подготовки производства разрабатывают технологическую документацию, предписывающую порядок и режимы выполнения операций, их техническое оснащение, затраты времени и содержащую прочие сведения. В процессе разработки этой документации изучают чертежи изделий, учитывают возможности производства, используют справочные материалы, ведут расчеты и т.д. В конечном счете обширная информация, которой оперирует технолог, перерабатывается в решения о построении технологических процессов изготовления изделий. Эти решения отображают и фиксируют в технологической документации. Однако если используемое технологическое оборудование оснащено устройствами числового программного управления, то информация, содержащаяся в технологических картах, должна быть преобразована в управляющие программы.

Технологическая информация, поступающая на рабочее место, является исходной в информационном процессе, свершаемом при выполнении операции. Выполнение любой операции требует решения множества технологических задач, связанных, например, с установкой заготовки, настройкой станка, наблюдением за ходом процесса обработки и управлением им. Решение каждой из них сопряжено с определенными действиями над информацией, направленными на выработку решения или управляющего воздействия на объект производства, оборудование, инструмент и т.п.

Решение задачи должно быть подтверждено соответствующим сообщением. А насколько удачно решена задача, можно установить, сопоставив результаты решения с условиями задачи. Для этого опять-

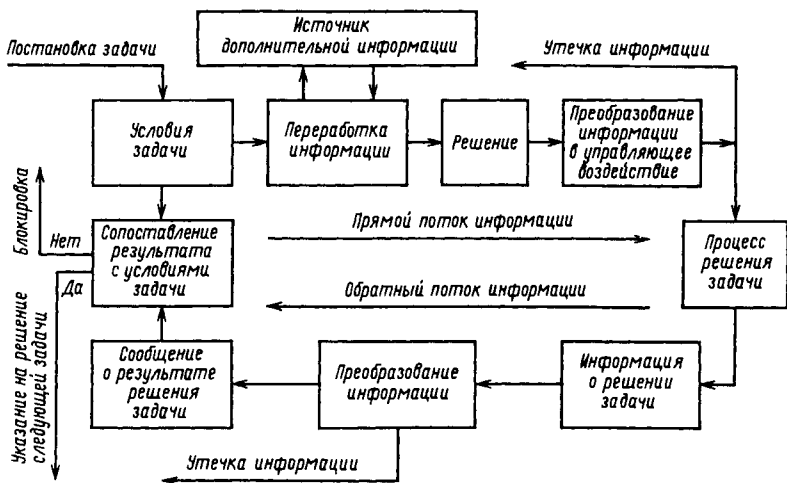


Рис. 7.1. Схема информационной связи

таки нужны получение, преобразование, передача и другие операции над информацией.

Таким образом, постановку задачи, ее решение, сообщение о том, что задача решена, и оценку правильности решения связывает замкнутый информационный контур, который может быть назван информационной связью.

Информационная связь — это замкнутый контур, образуемый прямыми и обратными потоками информации, охватывающий все действия над информацией, необходимые для решения производственной или технологической задачи.

Графическое отображение понятия об информационной связи дано на рис. 7.1. На схеме показаны действия в информационном процессе, совершаемые на пути перехода от условий задачи к результатам ее решения. Входом в информационный контур является постановка задачи, выходом — результат ее решения. Замыкает информационный контур сопоставление результата решения с условиями технологической задачи. В ходе информационного процесса возможны изучение условий задачи, переработка исходной информации в решение и управляющее воздействие, приведение информации о решении задачи к виду, сопоставимому с ее условиями, и др. Возможны запросы дополнительной информации, потери информации в ходе ее переработки, преобразованиях, передаче и т.д.

Обратный поток информации может существовать в неявной форме. Например, условием правильности решения технологической задачи может быть отсутствие сообщения о результатах в момент ее решения. И только дальше в производственном или технологическом процессе, где обнаружится допущенная ошибка, последует сообщение о том, что задача была решена неверно. Такие случаи возникают в процессе сборки машин, когда выясняется, что поставленные механическим цехом детали были изготовлены некачественно. Рекламации на машину от потребителей относятся к тому же роду сообщений по каналам обратной связи.

7.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Выполнение производственного процесса связано с решением многих производственных и технологических задач. Любая из них расчленяется на несколько действий, и каждое из них должно быть обеспечено своим информационным процессом. Информационное обеспечение задачи в целом, так же как и отдельных действий, всегда предшествует их решению.

Если задачу решает непосредственно человек, то информационный процесс во многом оказывается скрытым как от него самого, так и от наблюдателя за его действиями. Объясняется это тем, что информационный процесс человек осуществляет в результате умственной деятельности и с помощью всех органов чувств, многие действия выполняет подсознательно, но целесообразно. Например, для того чтобы взять какой-то предмет со стола, человеку достаточно осознать задачу, взглянуть на этот предмет, протянуть руку и взять предмет. Необходимыми действиями руки руководит высокоразвитая нервная система человека, не затрагивая его сознания.

Если выполнение задачи возлагается на технические средства, требуется глубокая расшифровка содержания как самой задачи, так и проработка информационного процесса, обеспечивающего ее решение. Технические средства должны восполнить не только механическую, но и умственную, включая подсознательную, деятельность человека.

Для пояснения изложенного проанализируем решение одной из технологических задач, а именно установку заготовки втулки на токарном станке в самоцентрирующий трехкулачный патрон с пневматическим зажимом. Если втулку будет устанавливать рабочий вручную, то ему необходимо взять заготовку из тары, например, в

виде лотка, поднести к патрону, ввести в пространство между кулачками и включить пневматический привод патрона. О правильности установки заготовки рабочий может судить "на глаз" по радиальному биению вращающейся заготовки после включения привода шпинделя станка.

Простота задачи, сводящейся к ряду механических действий рабочего, создает впечатление о полном отсутствии информационного процесса в ходе ее решения. В действительности же информационный процесс есть и не столь прост как задача в сделанной постановке. В этом нетрудно убедиться, если представить установку заготовки втулки автоматическим путем с применением промышленного робота.

Автоматическое решение задачи требует полного раскрытия действий, которые должны быть совершены для установки заготовки в патроне станка. В них входят следующие задачи:

- 1) придание заготовкам втулок определенного положения в лотке;
- 2) придание необходимого положения лотку с заготовками в системе координат технологической системы;
- 3) программирование движений робота;
- 4) введение в устройства программного управления (УПУ) робота и станка управляющих программ (УП);
- 5) придание захватному устройству (ЗУ) робота исходного положения в системе координат технологической системы;
- 6) перемещение ЗУ робота к очередной заготовке;
- 7) захват роботом заготовки;
- 8) перемещение заготовки к патрону станка;
- 9) введение заготовки в рабочее пространство кулачков патрона;
- 10) закрепление заготовки кулачками патрона;
- 11) разжим ЗУ робота;
- 12) отвод ЗУ из зоны обработки;
- 13) проверка правильности установки заготовки.

Таким образом, задача установки заготовки в патроне распалась на несколько действий, каждое из которых представляет собой частную технологическую задачу. Информационное обеспечение решения частных задач будет осуществляться по-разному.

Например, задача придания требуемого положения заготовке в лотке должна быть решена при конструировании лотка. Процесс конструирования будет заключаться в переработке исходной информации о виде, форме, размерах и числе заготовок, одновременно размещаемых в лотке, в конструктивные решения о форме, размерах и местоположении ячеек, базирующих заготовки в лотке, о форме и размерах корпуса лотка и т.д. (рис. 7.2). Выбор и конструктивное оформление основных баз лотка должно быть сделано с привязкой к конструкции стола, на который лоток будет установлен.

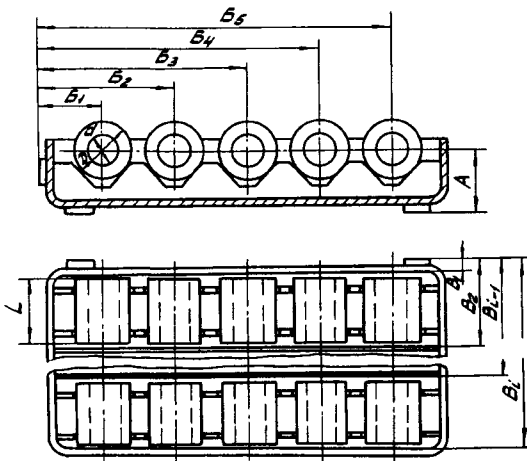


Рис. 7.2. Лоток с размещенными в нем заготовками втулок

Тогда же должны быть избраны средства сигнализации о том, что в результате установки лоток занял требуемое положение в технологической системе.носителем такого сообщения может быть электрический сигнал, вырабатываемый специальным устройством в момент касания лотком шести

опор стола, базирующих лоток. Появление сигнала есть сообщение о том, что лоток с заготовками занял нужное положение и вторая задача решена.

Следующая задача заключается в разработке управляющей информации действиями робота. Процесс выработки такой информации, информационный в своем существе, завершается ее кодированием и переносом на носитель, например на перфорированную ленту.

Исходное положение ЗУ будет придано в процессе настройки технологической системы. Если настройку ведут вручную, то наладчик сначала должен изучить запрограммированные действия робота, а затем привязать их к лотку с заготовками и станку. Для этого наладчику придется выполнять информационный процесс для нахождения нужных решений и действий, связанных с настройкой технологической системы. В этом процессе исходная информация будет дополнена знаниями и опытом наладчика. В переработке информации будет участвовать его ум и органы чувств.

Задачи 5—11 будут выполняться по программе. Информационный процесс будет заключаться в переработке информации, содержащейся в управляющей программе, в действия робота и привода патрона. Выполнение каждого действия должно сопровождаться сообщением о его завершении, служащим одновременно командой на начало следующего действия.

Правильность установки заготовки так же может быть проверена по программе, но для этого станок должен быть оборудован специальными автоматическими устройствами, контролирующими силу за-

крепления заготовки, ее радиальное биение и другие параметры, с подключением их к устройствам управления работой технологической системы.

Рассмотрев приведенный пример, можно сделать следующие выводы.

1. Решение производственной или технологической задачи, независимо от того, решается ли она человеком вручную или автоматически, обеспечивает информационный процесс. При решении задачи человеком вручную содержание информационного процесса во многом скрадывается, так как в основном он свершается в результате умственной деятельности человека и при участии его органов чувств. Автоматическое решение задачи нуждается в детальном раскрытии содержания информационного процесса, так как только таким путем можно выявить средства, необходимые для его осуществления и замещения информационной деятельности человека.

2. Информационный процесс, сопутствующий решению производственной или технологической задачи может быть подразделен на две части. Одна из них связана с разработкой того, что обеспечивает решение задачи (технологии, управляющих программ, технических средств и т.п.), а другая — с управлением процессом, в результате свершения которого достигается решение задачи.

3. Обе части информационного процесса так же, как и его отдельные этапы, органически связаны друг с другом. Только их обоюдная согласованность может служить гарантией успеха в решении задачи. Например, разработка управляющих программ в рассмотренном примере была бы невозможна без знания технических характеристик робота и лотка для заготовок, конструирование лотка — без знания технологических возможностей используемого робота и т.д.

Обычно в разработке информационного процесса и средств, обеспечивающих его исполнение, участвуют люди разных профессий, возможно даже разобщенные территориально. Согласованность их действий и решений во многом зависит от четкости формулировки технологических задач, полноты исходных данных и изложения содержания отдельных этапов информационного процесса.

4. Для раскрытия содержания информационного процесса необходимо расчленение производственной или технологической задачи на частные задачи и элементарные действия.

5. Решение любой частной задачи обеспечивает информационная связь, объединяющая операции над информацией, необходимые для перехода от условий задачи к сообщению о том, что задача решена, и заключению, что ее решение верно.

7.3. СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРОЦЕССЕ

Членение производственных и технологических задач влечет образование сопряженных контуров информационных связей, увязываемых в цепь в той же последовательности, в какой должно идти решение частных задач. Например, если в задаче установки заготовки втулки в патрон токарного станка выделить часть действий, непосредственно касающихся установки заготовки, то информационный процесс составил бы ряд информационных связей, показанных на рис. 7.3.

Указанием к действию будет служить сигнал: "Установить заготовку". Он же будет командой к решению первой частной задачи: "Переместить ЗУ в точку с координатами x_i, y_i, z_i ". Перемещение ЗУ будет идти по программе. Передаваемая ею информация должна быть переработана в управляющее воздействие с учетом местоположения в лотке заготовки, подлежащей захвату. По достижении ЗУ нужной точки должны последовать контроль и сообщение о положении, занимаемом им. Сопоставление результатов решения с условиями задачи приведет к заключению о том, как решена задача. При ответе "Нет" технологическая система должна быть заблокирована. Положительный ответ послужит командой к решению следующей частной задачи: "Захватить заготовку", и в действие будет приведен следующий информационный контур. Аналогичные информационные связи будут действовать и при решении остальных частных задач, пока заготовка не займет требуемого положения в патроне станка, а ЗУ не будет выведено из зоны обработки заготовки.

Рассмотренный пример подтверждает высказывание о том, что информационный процесс, обеспечивающий решение основной задачи, представляет собой цепь, звеньями которой являются информационные связи, с помощью которых решаются частные задачи.

Понятия об основной и частной задаче очень относительны, так как задача, считаемая основной в данной постановке, может оказаться частной по отношению к задаче более высокого уровня.

В рассмотренном примере установка заготовки в патрон выступала как основная задача. Однако по отношению к задаче "Выполнить первую операцию технологического процесса изготовления втулки", она окажется частной, так как ее решению должны предшествовать доставка на рабочее место инструментов и заготовок, ввод в УПУ робота и станка управляющих программ, настройка технологической системы, а за установкой заготовки будет следовать ее обработка, контроль достигнутой точности, снятие детали со станка. Каждая из перечисленных частных задач в момент членения на элементарные

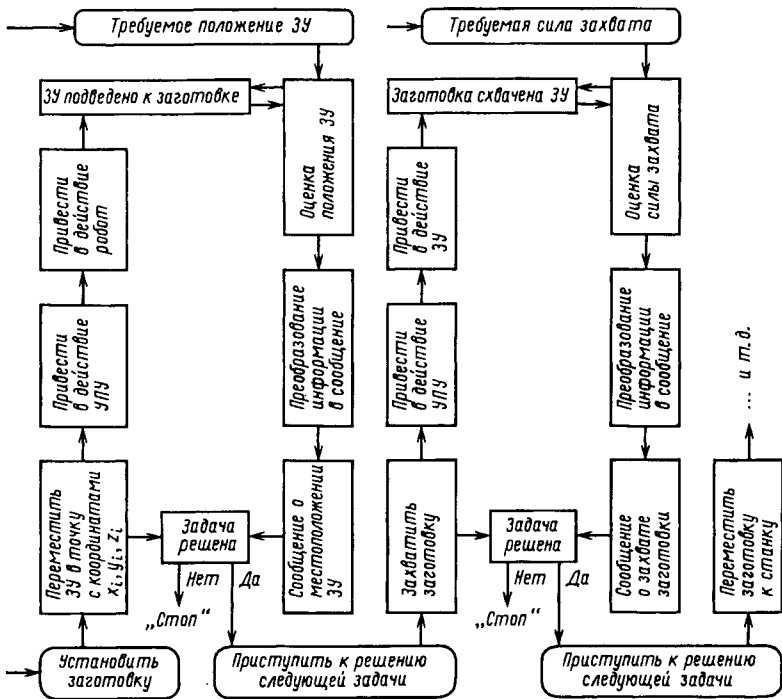


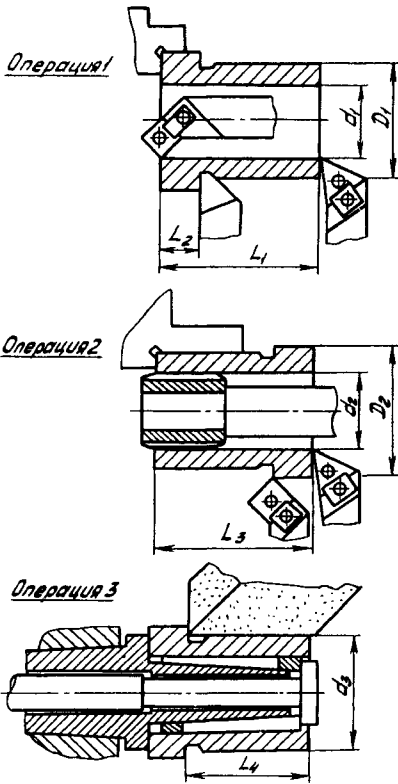
Рис. 7.3. Фрагмент информационного процесса в задаче установки заготовки втулки в патрон станка

действия перейдет в состав основных. По отношению к технологическому процессу изготовления втулки выполнение первой операции будет решением частной задачи, так как технологический процесс имеет и другие операции.

В соответствии с иерархией производственных и технологических задач оказывается многоуровневым и информационный процесс, обеспечивающий их решение. Строение информационного процесса идет по нисходящей по мере разветвления задач и членения их на элементарные действия.

Представление о многоуровневом строении информационного процесса может дать схема информационных связей (рис. 7.5), с помощью которых осуществляется процесс изготовления втулки (рис. 7.4).

Рис. 7.4. Технологический процесс изготовления втулки



Задача изготовления втулки сводится к выполнению трех операций. На примере выполнения операции 1 на схеме представлены задачи более низкого уровня и членение каждой из них на элементарные действия. Решение задач любого уровня обеспечивают информационные связи, отображенные на схеме в виде замкнутых контуров. Линиями, соединяющими контуры информационных связей, обозначены потоки информации, несущие условия задач и команды на их решение, либо сообщения о результатах решения задач. Направления потоков информации показаны стрелками. В целом схема отображает структуру информационных связей, действие которых необходимо для изготовления партии втулок объемом n .

Глядя на схему, можно видеть, что наряду с последовательными действиями в решении задач имеет место и совмещение действий. Например, выполнение трех операций технологического процесса изготовления втулки возможно лишь в строгой последовательности. То же относится и к задачам, непосредственно связанным с осуществлением первой операции, или элементарным действиям по подготовке операции и выполнению ее отдельных этапов. Однако такие задачи, как доставка заготовок и инструмента на рабочее место, введение УП в УПУ робота и станка или настройка робота и станка, могут решаться одновременно.

Избираемый порядок решения задач отражается на структуре информационных связей и их сопряжениях. В общем случае контуры информационных связей могут сопрягаться и последовательно и параллельно. Это значит, что информационные связи не лишены свойств, отмеченных в п. 2.4.

Если представить производственный процесс, пусть даже на каком-то участке цеха, где в течение смены изготавливаются детали широкой и переменной номенклатуры, то сложность структуры информационных связей в производственном процессе будет очевидной. Одновременное осуществление технологических процессов изготовления деталей нескольких наименований, доставка инструментов и заготовок к рабочим местам, транспортирование готовой продукции на склад, широкий круг задач по обеспечению требуемой точности деталей, непрерывный анализ хода производственного процесса, его диспетчеризация и многое другое требует своего бесперебойного информационного обеспечения.

Особо сложной оказывается разработка информационного процесса для автоматизированного производства, где физическая и умственная деятельность человека во многом замещается техническими средствами, управляющими программами и пр. При построении автоматизированного производственного процесса не должна быть упущена ни одна самая малая из производственных или технологических задач и информационный процесс, обеспечивающий ее решение. В противном случае в производственном процессе неизбежны сбои.

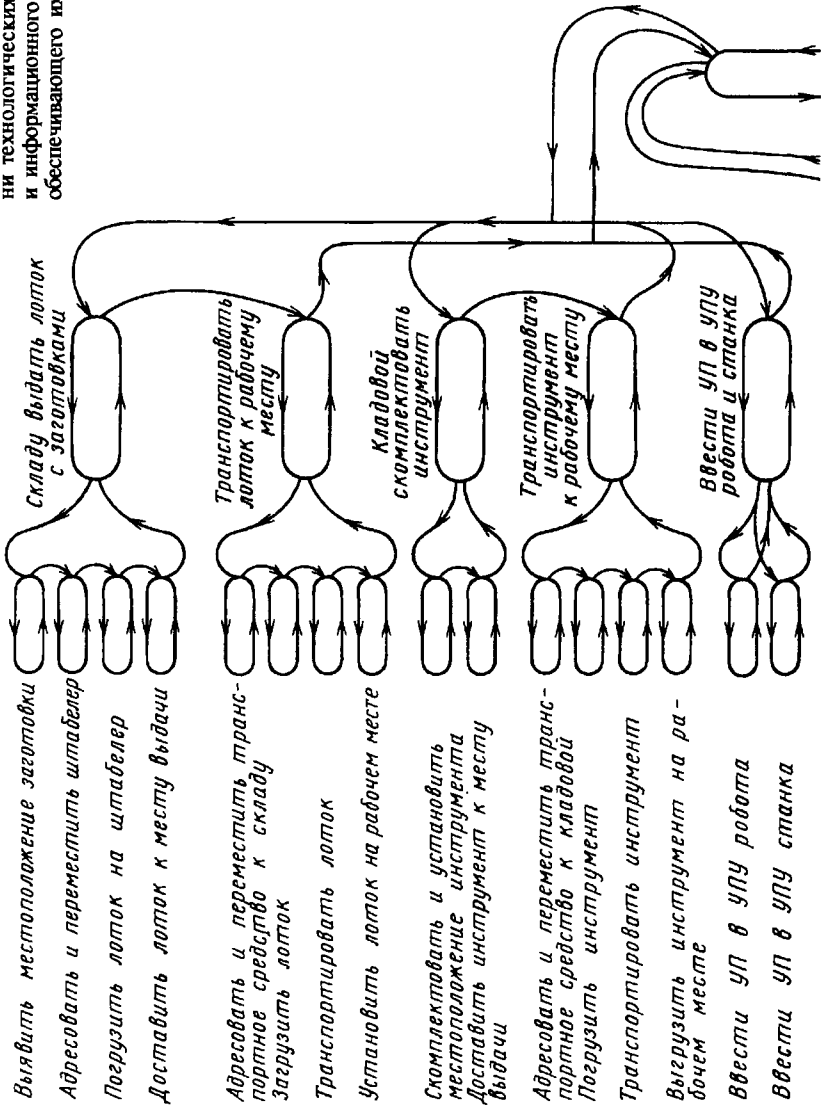
Четкость и надежность информационного процесса во многом зависят от его организации, предопределяемой компоновкой производственных и технологических задач. Компоновка задач приводит к многоуровневому строению информационного процесса.

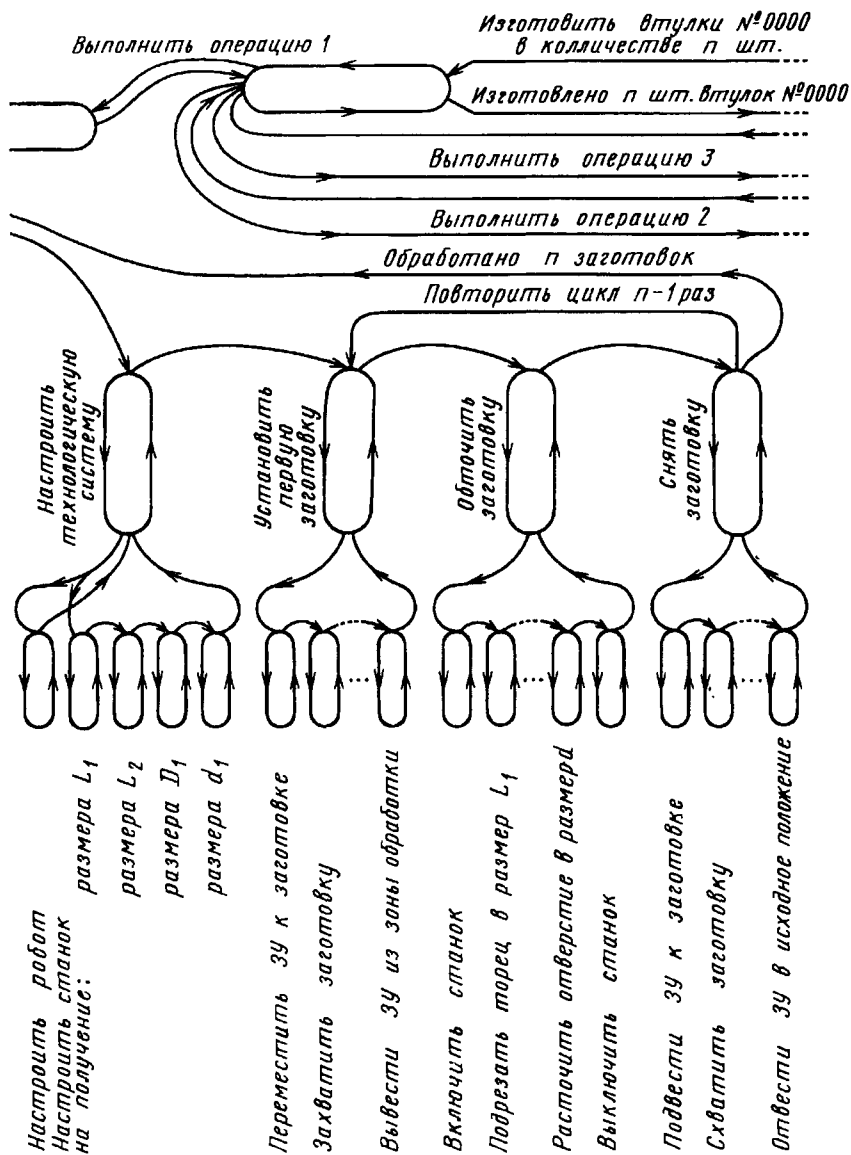
Нижний уровень составляют информационные процессы, обеспечивающие исполнение операций технологических процессов и решения других локальных задач. Помимо управления работой оборудования информационный процесс на рабочем месте может охватывать контроль правильности установки заготовок на станке, наблюдение за состоянием режущего инструмента, управление точностью обработки, контроль точности изготовленных деталей, диагностику состояния оборудования и др. Поскольку задачи каждой операции специфичны, то и структуры информационных связей будут индивидуальными и своеобразными.

Следующий уровень составляют информационные процессы, охватывающие задачи, общие для технологических операций: управление включением оборудования для выполнения конкретных операций, доставка на рабочие места заготовок и инструментов и т.д. На верхнем уровне управления решаются задачи оперативного планирования, диспетчеризации производственного процесса, учет изготовленной продукции и т.п.

Иерархические уровни информационного процесса связаны между собой потоками информации, несущими в одном направлении — сигналы к действию, а в обратном направлении — сообщения об исполне-

Рис.7.5. Иерархические уровни технологических задач и информационного процесса, обеспечивающего их решение





нии действий, состоянии оборудования и инструментов, возникших сбоях и пр.

Производственный процесс в силу своих вероятностных свойств нуждается в такой структуре информационных связей, при которой обеспечивались бы возможности его самонастройки и саморегулирования. Переменная номенклатура изделий, находящихся в производстве, приоритеты заказов, отклонения затрат времени при выполнении операций, отказы оборудования, несовершенства организации и управления производственным процессом и другие факторы делают практически невозможным ведение процесса по строгому расписанию. Поддержание непрерывности хода процесса с изменением ситуации достигается путем его корректирования.

Показательными в этом отношении могут быть наблюдения за выполнением сменных заданий в цехах мелкосерийного производства. Наблюдения показали, что выполнение заданий в такого рода цехах находится на уровне 25—30 %, хотя в целом программы выпуска изделий выполняются. Случайные события, которые невозможно предусмотреть при разработке сменного задания, вынуждают в ходе производства изменять состав изделий, намеченных к выпуску, по другому распределять их между рабочими местами и даже перестраивать технологию, добиваясь тем самым полноценной отдачи от рабочей смены.

В обычном производстве процесс корректируют руководящие работники всех рангов, диспетчерская служба, операторы. В автоматизированном производстве исполнение этих функций возлагается на технические средства и тем больше, чем выше уровень автоматизации производства. Поэтому в задачу информационного процесса автоматизированного производства входит непрерывный анализ состояния производственного процесса и выработка решений по устранению причин намечающихся или возникших сбоев. Принцип адаптивного управления должен соблюдаться на всех иерархических уровнях управления и быть заложен в строение информационного процесса.

Значительную часть информационного процесса в автоматизированном производстве составляет обеспечение работы аппаратных средств. Выбор аппаратных средств и разработка их собственного математического обеспечения ведут в полном соответствии с составом и логикой решения производственных и технологических задач.

7.4. ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГОВ В РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

В построении информационных процессов для автоматизированных производств участвуют технологи, специалисты в области управления, автоматики, вычислительной техники, конструкторы и др. Качество конечного результата их работы — системы автоматизированного управления производственным процессом — прежде всего зависит от четкости и полноты формулировки функций системы управления, понимания каждым специалистом своих задач, согласованности действий и принимаемых решений.

Задание на проектирование системы управления выдают технологи по завершении разработки технологии изготовления изделий с охватом мер по обеспечению их качества, вопросов транспортирования и складирования заготовок и готовых изделий, инструментального обеспечения, организации и планирования производственного процесса. В задачи технологов входит выдача технических заданий на проектирование технологического оборудования и технологической оснастки, средств транспорта, складирования, инструментального обеспечения и другого производственного оборудования.

Таким образом, в результате технологических разработок становится ясным облик проектируемого производства: состав технологического и производственного оборудования, его планировка и организация производственного процесса. Выясняется также состав и содержание производственных и технологических задач, последовательность решения одних и необходимость совмещения во времени решения других. Обнаруживаются логические связи в действиях, которые необходимо учесть при разработке системы управления.

Все это позволяет построить схему информационных связей в производственном процессе и представить ее в виде технического задания на разработку системы управления. На схеме должны быть отражены полный состав производственных и технологических задач, контуры информационных связей и их сопряжения.

Деятельность технологов в построении информационного процесса не ограничивается разработкой схемы информационных связей. Сотрудничая со специалистами других областей знаний, технологи обязаны участвовать в отработке элементов информационного процесса, его технического и математического обеспечения.

При разработке информационного процесса очень важно взаимопонимание между людьми разных профессий, привлекаемых к работе. Требуемое взаимопонимание может быть достигнуто в результате наделения специалистов основами знаний в тех областях, с которыми им приходится соприкасаться, и общности используемого языка.

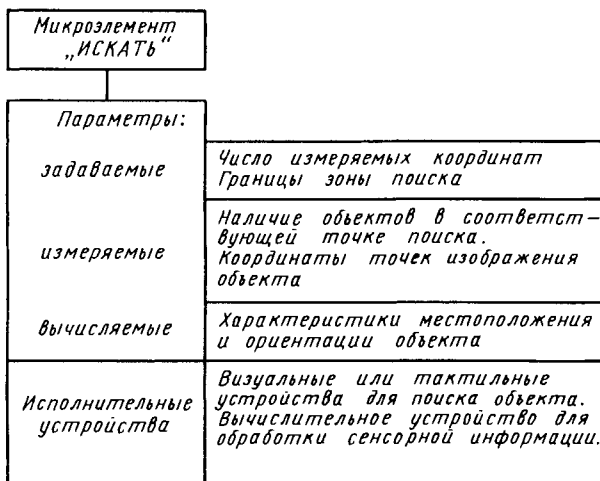


Рис. 7.6. Содержание микроэлемента "ИСКАТЬ"

По мнению В.А. Мясникова [17], основой языка для описания технологических процессов может быть набор микроэлементов, связывающих параметры технологического процесса с параметрами используемого оборудования. Состав таких микроэлементов не будет громоздким, так как выполнение технологических и производственных процессов сводится к ограниченному числу элементарных типовых действий.

Примерами таких микроэлементов могут быть указания к действию: "ИСКАТЬ", "ОПИСАТЬ", "ПЕРЕМЕСТИТЬ", "УСТАНОВИТЬ", "ОБРАБОТАТЬ" и т.п. Исполнение каждого элементарного действия обеспечивается по единой схеме. В качестве примеров на рис. 7.6 и 7.7 представлены соответственно содержание микроэлементов "ИСКАТЬ" и "ПЕРЕМЕСТИТЬ". Сопоставляя эти микроэлементы, можно видеть сходство их структур, заключающееся в составе параметров технологического процесса (задаваемые, измеряемые, вычисляемые) и указаниях в отношении исполнительных средств.

С помощью микроэлементов подобного рода на любом иерархическом уровне можно с достаточной степенью полноты изложить смысл задачи и информационных связей, необходимых для ее решения, а также наметить средства реализации информационного процесса. Примером применения микроэлементов может служить описание задачи установки заготовки втулки в патрон токарного станка с помощью робота, рассмотренной в п. 7.2.

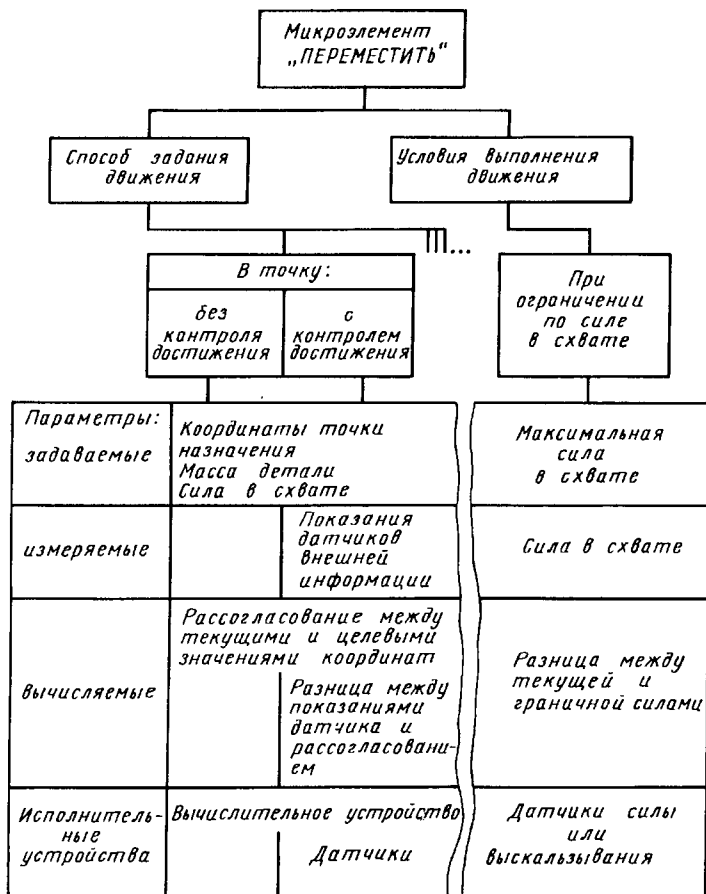


Рис. 7.7. Содержание микроэлемента "ПЕРЕМЕСТИТЬ"

В табл. 7.1 приведены микроэлементы, задаваемые, измеряемые, вычисляемые величины и требуемые исполнительные средства.

Необходимость столь детального описания технологами всех производственных и технологических задач подтверждается опытом создания гибких производственных систем (ГПС). На первых порах создания таких производств бытовало мнение о том, что для построения ГПС достаточно взять станки с программным управлением, соединить их транспортными устройствами и подключить вычислительную технику. Такой упрощенный подход неизменно кончался

7.1. Описание процесса установки заготовки в патрон с помощью робота

Микроэлемент	Задается	Измеряется	Вычисляется	Исполнительные элементы
ПРОГРАММИРОВАТЬ	$x_0, y_0, z_0, k;$ m	—	$x_k, y_k, z_k;$ x_m, y_m, z_m	Вычислительное устройство
ПЕРЕМЕСТИТЬ	$x_k, y_k, z_k;$ a_1, b_1, c_1	x'_k, y'_k, z'_k	$x'_k - x_k \neq a_1;$ $y'_k - y_k \neq b_1;$ $z'_k - z_k \neq c_1$	Управляющая программа, датчики положения, вычислительное устройство
ВЗЯТЬ	$a_3; P_3$	P'_3	$P'_3 - P_3 > 0$	Управляющая программа ЗУ, датчик силы захвата
ПЕРЕМЕСТИТЬ С ГРУЗОМ	$x_m, y_m, z_m;$ a_2, b_2, c_2	x'_m, y'_m, z'_m	$x'_m - x_m \neq a_2;$ $y'_m - y_m \neq b_2;$ $z'_m - z_m \neq c_2$	Управляющая программа, датчики положения, вычислительное устройство
ПЕРЕМЕСТИТЬ С ГРУЗОМ	$x_p; P_k$	P'_k	$P'_k \neq P_k$	Управляющая программа, датчик силы контакта
ЖДАТЬ	t_3	t	$t \neq t_3$	Датчик текущего времени

Микроэлемент	Задается	Измеряется	Вычисляется	Исполнительные элементы
ВКЛЮЧИТЬ	$P_{3.3}$	$P'_{3.3}$	$P'_{3.3} - P_{3.3} > 0$	Датчик силы за- крепления заготовки, управляющая про- грамма ЗУ
ОПУСТИТЬ	—	—	—	Управляющая про- грамма
ПЕРЕМЕСТИТЬ	x_p, y_p, z_p	—	—	То же

У с л о в н ы е о б о з н а ч е н и я : x_0, y_0, z_0 — координаты точки исходного положения захватного устрой-
ства робота; k — точка, в которую должно быть перемещено ЗУ для захвата заготовки; m — точка, в которую должно
быть перемещено ЗУ с заготовки; x_k, y_k, z_k и x_m, y_m, z_m — координаты точек k и m ; a_1, b_1, c_1 — допустимые отклоне-
ния положения ЗУ в точке k ; x'_k, y'_k, z'_k ; x'_m, y'_m, z'_m — координаты точек фактического положения ЗУ; $\#$ — знак
сопоставления; d_3 — диаметр заготовки; P_3 и P'_3 — соответственно требуемая и фактическая сила захвата заготовки; $a_2,$
 b_2, c_2 — допустимые отклонения положения ЗУ с заготовкой в точке m ; x_p — линейное перемещение заготовки в
направлении к патрону; P_k и P'_k — соответственно требуемая и фактическая сила контакта заготовки с патроном; t_3 и t
— соответственно заданное и текущее время ожидания; $P_{3.3}$ и $P'_{3.3}$ — соответственно требуемая и фактическая сила
закрепления заготовки в патроне; x_p, y_p, z_p — координаты точки p , в которую должно быть выведено ЗУ из рабочей
зоны станка.

неудачей: расставленная техника бездействовала. Известен случай, когда для "оживления" производственного процесса на участке из двух станков потребовалось 5 лет. Эти годы были затрачены на осмысление производственных и технологических задач, логических связей между их решениями, разработку информационного процесса и его математического обеспечения, внесение существенных изменений в конструкцию технологического и производственного оборудования в соответствии с требованиями информационного процесса. Началом всей этой работы явилось описание производственных и технологических задач и структуры информационных связей, обеспечивающих их решение.

До сих пор технология машиностроения в очень малой мере занималась изучением информационных процессов на производстве. Для восполнения пробела в этом направлении требуется большая научная работа, которая должна быть направлена на разработку метода описания производственных и технологических задач с точки зрения информационного процесса, на выработку языка описания, согласующегося с машинным языком, на разработку алгоритмов и программ для управления решением типовых задач. Поэтому все изложенное в данной главе следует воспринимать как первые шаги в поиске подходов к установлению логических связей между производственными, технологическими задачами и информационным процессом, обеспечивающим их решение.

Контрольные вопросы

1. Каковы свойства технологической информации и что такое информационная связь?
2. Какова роль информационного процесса в решении технологической задачи?
3. Какова структура информационных связей в производственном процессе?
4. Как описать состав технологических задач, содержание информационных процессов и средств, необходимых для осуществления последних?

8.1. КОМПОНЕНТЫ ВРЕМЕННЫХ СВЯЗЕЙ

Временные связи в производственном процессе возникают, прежде всего, в виде соотношений между фондами времени, которыми располагают технологическое оборудование, рабочие, производственное подразделение (участок, цех и т.п.), и затратами времени на выполнение технологических процессов изготовления изделий и отдельных операций.

Временные связи образуются также в результате членения затрат времени на составляющие и определении значений различных показателей эффективности производственного процесса и его составных частей.

Исходным в определении фонда времени служит календарное время за вычетом нерабочих дней в избранном периоде. Расчетный или номинальный фонд времени учитывает число и длительность полноценных и сокращенных смен, планируемое время простоя оборудования при техническом обслуживании и ремонтах, регламентируемые перерывы для отдыха рабочих при выполнении тяжелой или вредной работы.

Для единицы оборудования номинальный фонд времени

$$\Phi_n = (D_p t_{\text{сут}} - D_{p.c} t_c) (1 - t_{\text{пр}}/100),$$

где D_p — число рабочих дней в планируемом периоде; $t_{\text{сут}}$ — число рабочих часов в сутки; $D_{p.c}$ — число рабочих дней сокращенной продолжительности; t_c — число часов, на которое сокращаются

* Понятие об эффективности производственного процесса в данной главе трактуется в узком смысле: вне связи с качеством изделий и экономикой производства.

рабочие сутки; $t_{\text{пр}}$ — планируемое время простоя оборудования (3–6 % — для универсального, 10–12 % — для уникального оборудования и в тех же пределах в случаях предоставления рабочим перерывов для отдыха).

В силу ряда случайных событий, неизбежных в производственном процессе, действительный фонд времени $\Phi_{\text{д}}$ отличается от номинального на величину потерь $P_{\text{ф}}$ фонда времени:

$$\Phi_{\text{д}} = \Phi_{\text{н}} - P_{\text{ф}}$$

Причинами таких потерь могут быть отказы оборудования, задержки с подачей на рабочие места технической документации, заготовок и инструментов, непредвиденные невыходы рабочих на работу, нарушения трудовой дисциплины и пр. Таким образом, потери фонда времени

$$P_{\text{ф}} = P_{\text{ф.тех}} + P_{\text{ф.орг}} + P_{\text{ф.р}},$$

где $P_{\text{ф.тех}}$, $P_{\text{ф.орг}}$, $P_{\text{ф.р}}$ — потери фонда времени соответственно по техническим, организационным причинам и по вине работающих.

Затраты времени t на выполнение операций технологического процесса, называемого штучно-калькуляционным временем, слагаются из доли подготовительно-заключительного времени $t_{\text{п.з}}$ и штучного времени $t_{\text{шт}}$:

$$t = t_{\text{п.з}}/n + t_{\text{шт}}, \quad (8.1)$$

где n — число изделий, составляющих партию.

Подготовительно-заключительное время затрачивается на подготовку к изготовлению партии n изделий. Подготовительные работы включают получение задания и ознакомление с ним, изучение чертежей и технологической документации, подготовку рабочего места, настройку оборудования, сдачу изготовленных изделий и прочие работы, относящиеся ко всей партии.

Штучное время представляет собой сумму четырех слагаемых: основного технологического времени $t_{\text{о.т}}$, вспомогательного времени $t_{\text{в}}$, времени обслуживания $t_{\text{об}}$ рабочего места и дополнительного времени $t_{\text{д}}$:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{о.т}} + t_{\text{в}} + t_{\text{об}} + t_{\text{д}}. \quad (8.2)$$

Основное технологическое время $t_{\text{о.т}}$ — это время непосредственного воздействия на объект производства: изменение формы, размеров, состояния поверхностного слоя, структуры материала при обработке

заготовки или соединение деталей в сборочную единицу, их закрепление и прочие действия в процессе сборки изделия.

Если перечисленные воздействия производятся с помощью оборудования (станка, прессы, печи, сборочной машины) и без участия человека, основное технологическое время называют машинным. При выполнении подобных действий вручную основное технологическое время называют ручным. Если воздействия производятся с помощью машины, но с участием человека, основное технологическое время называют машинно-ручным.

Вспомогательное время t_v затрачивается на переходы, сопутствующие процессу непосредственного воздействия на объект производства. К такого рода переходам относят установку и закрепление заготовок для обработки, снятие их после обработки, пуск и остановку оборудования, подвод к заготовке инструмента и отвод его и т.д.

Сумму основного технологического и вспомогательного времени называют оперативным временем

$$t_{оп} = t_{о.п} + t_v.$$

Время обслуживания $t_{об}$ рабочего места представляет собой время, затрачиваемое работающим на уход за рабочим местом и поддержание его в рабочем состоянии. Его подразделяют на две части: время технического и время организационного обслуживания рабочего места.

Время технического обслуживания затрачивается на поднастройку технологической системы, смену затупившегося инструмента, удаление стружки с рабочих органов станка, приспособления.

Время организационного обслуживания рабочего места затрачивается на смазывание и чистку оборудования, удаление стружки с рабочего места и приведение его в порядок.

Время дополнительное t_d выделяется на отдых и регламентируется условиями работы (тяжестью и интенсивностью труда). При нормальных условиях работы нормируется лишь время на личные потребности.

Значения времени, затраченного на выполнение операции, и его слагаемых могут быть номинальными, действительными и измеренными.

Фонд времени и затраты времени на выполнение операций являются основными компонентами временных связей в производственном процессе. Производными этих величин являются показатели его эффективности: производительность, уровень загрузки оборудования, ритмичность производственного процесса, длительность цикла изготовления изделий, степень выполнения производственного задания и др.

8.2. ВИДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Структура временных связей во многом зависит от вида производственного процесса и форм его организации, выбор которых диктуется характером и объемом производимой продукции.

Организационные виды и формы производственного процесса изготовления деталей. В производстве заготовок или деталей широкой номенклатуры, изготавливаемых единицами или в небольших количествах, оборудование, для более полной его загрузки, объединяют в группы по общности служебного назначения. Создают отдельные участки, например, из токарных, фрезерных, сверлильных и т.п. станков (рис. 8.1). Во главе каждого участка стоит мастер.

Заготовки (изделия) в зависимости от технологии изготовления, проходят нужные участки, на которых выполняются намеченные операции. Изделия небольших размеров и массы после каждой или нескольких смежных операций поступают в промежуточный склад, где хранятся до выдачи на следующую операцию. Изделия больших габаритных размеров и массы хранятся около станков на специально отведенных подкрановых площадках. По завершении технологического процесса изделия поступают на склад готовой продукции, откуда, после комплектации, выдаются на сборку.

При такой форме организации производственного процесса пути следования изделий различны, сложны и длинные. Большая номенкла-

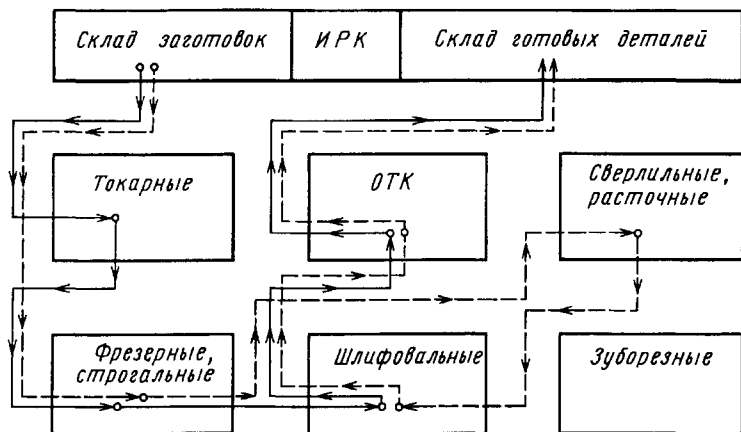


Рис. 8.1. Групповая расстановка оборудования:
ИРК — инструментально-раздаточная кладовая; линиями со стрелками указаны маршруты движения заготовок

тура изделий при малых партиях, различная станкоемкость операций, сложность маршрутов перемещения делают сложным планирование и управление производством. Уровень производительности и загрузки оборудования, длительность циклов изготовления изделий во многом зависят от квалификации и распорядительности работников планово-диспетчерского бюро цеха и мастеров участков. Именно на них ложится ответственность за формирование рациональной структуры временных связей, обеспечивающей планируемый выпуск изделий. В итоге уровень технико-экономических показателей производственного процесса при рассматриваемой форме организации сравнительно невысок.

С увеличением выпуска одинаковых изделий появляется возможность объединить их в группы по однородности служебного назначения и вести изготовление изделий на *технологически замкнутых участках*. Оборудование на таких участках расставляют по ходу технологического процесса изготовления наиболее типичного представителя группы изделий. Тем самым обеспечивается прямолинейность движения в технологическом процессе большинства изделий, составляющих группу. Примерами такой формы организации производственного процесса могут служить технологически замкнутые участки на станкостроительных заводах, на которых изготавливают станины, корпусные детали, валы, зубчатые колеса и прочие детали.

Относительно меньшая номенклатура изделий, закрепленных за каждым технологически замкнутым участком, дает возможность проще и лучше организовать планирование и управление производственным процессом. Пути следования изделий становятся меньшими. Сокращается время на перенастройку оборудования при переходе от изготовления одного изделия к другому. Результатом являются более высокие технико-экономические показатели по сравнению с получаемыми при групповой расстановке оборудования.

При рассматриваемой форме организации снижается коэффициент использования отдельных видов оборудования, используемого частично. Например, на технологически замкнутых участках по изготовлению валов оказываются недогруженными сверлильные станки, используемые лишь при изготовлении валов только отдельных наименований.

В ряде случаев при достаточном объеме выпуска изделий ограниченной номенклатуры технологически замкнутые участки превращают в *комплексные*, предназначенные для изготовления типовых узлов производимых машин. На таких участках ведется не только изготовление деталей, но и сборка узлов и их испытание. Примером комплексных участков могут быть участки на станкостроительных заводах по производству гидроаппаратуры (гидравлических приводов, гидропанелей, золотниковых устройств и др.).

Рассмотренные формы организации относятся к непоточному виду производственного процесса, так как ни одна из них не обеспечивает непрерывности движения изготавливаемых изделий и равномерного выпуска их в единицу времени.

По мере увеличения объема выпуска одинаковых изделий создается возможность организации *поточного производства*. Одной из форм поточного производства является переменное-поточное производство, называемое еще многопредметным. Его создают в тех случаях, когда число изделий одного наименования не позволяет полностью загрузить основное оборудование технологически замкнутого участка. Для переменного-поточного производства характерен периодический запуск в изготовление партий изделий ограниченной номенклатуры. При переходе от изготовления партии изделий одного наименования к изготовлению партии другого наименования оборудование последовательно перенастраивают, пока не завершится изготовление всей номенклатуры изделий, закрепленных за участком. Затем участок возвращается к изготовлению изделий первого наименования, и процесс повторяется. В продолжение всего периода изготовления изделий одного наименования производственный процесс действует как непрерывно-поточный.

Переход на непрерывно-поточную форму организации производственного процесса становится возможным, когда число изделий одного наименования позволяет в достаточной степени загрузить основную часть оборудования, используемого для их изготовления.

Особенностями поточного производства является непрерывность движения заготовки, детали, сборочной единицы или машины и их выход со станка, механического или сборочного участка, цеха с требуемым тактом.

Расчетный такт работы станка, участка или цеха

$$\tau = \Phi_n \eta / N,$$

где Φ_n — номинальный фонд времени (в год, квартал, месяц, смену, час); N — программа выпуска изделия в планируемый период времени; η — коэффициент использования фонда времени.

В поточном производстве изготовление изделий ведется на поточных линиях, в которые включают все виды оборудования, необходимого для изготовления изделий. Оборудование расставляют строго по ходу технологического процесса и таким образом, чтобы сделать возможно меньшей длину пути изделия в процессе его изготовления и наилучшим образом использовать производственную площадь. Контрольные операции включают в поточную линию.

Все оборудование поточной линии связывают транспортными устройствами, передающими изделия с операции сразу же по ее

завершении на другую операцию. В поточном производстве отсутствуют склады, готовые детали сразу же передаются на сборку.

На случай непредвиденных потерь фонда времени и колебаний затрат времени на выполнение операций на отдельных рабочих местах, на транспортных устройствах, связывающих оборудование, создаются резервные (страховые) заделы изделий. Эти заделы необходимы для того, чтобы работа поточной линии не прерывалась в случае остановки оборудования на какой-либо из операций.

Технологический процесс для поточного производства разрабатывают таким образом, чтобы продолжительность каждой операции была, по возможности, равна или кратна такту выпуска. Это позволяет наиболее полно использовать оборудование поточной линии и обеспечить ритмичность производственного процесса.

Рабочие в поточных линиях обычно обслуживают несколько единиц одинакового или различного оборудования, совмещая, таким образом, разные профессии. Например, один рабочий может обслуживать токарный и фрезерный станки, находящиеся рядом, или пресс и сверлильный станок и т.п. Применение многостаночного обслуживания в ряде случаев заставляет пойти на неполное использование отдельного оборудования.

При производстве деталей на поточных линиях значительно упрощается планирование, распределение работ, учет и сокращается документация. Мастер несет ответственность за работу одной или нескольких поточных линий, а следовательно, и за ритмичный выпуск деталей. Большой объем выпуска одинаковых изделий дает возможность использовать высокопроизводительное оборудование и достигать высокого технико-экономического эффекта.

Организационные виды и формы производственного процесса сборки изделий можно представить в виде схемы, показанной на рис. 8.2.

Непоточная стационарная сборка характеризуется тем, что собираемый объект от начала и до конца сборки остается на одном

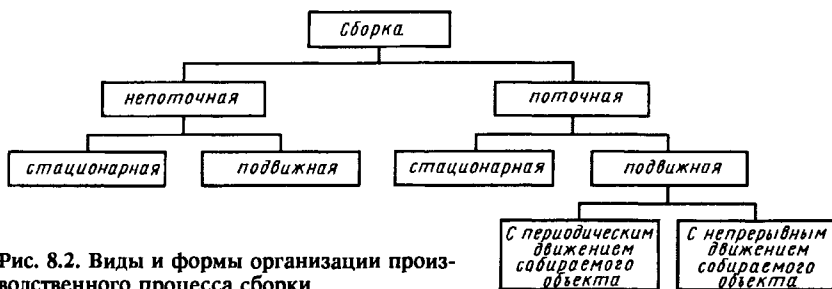


Рис. 8.2. Виды и формы организации производственного процесса сборки

рабочем месте. Сборку ведут рабочий или бригада рабочих. Все необходимые детали и сборочные единицы доставляются на рабочее место. Выполнение сборочных работ распределяется между рабочими и бригадами бригадиром и мастером участка.

Для облегчения труда рабочих рабочие места или станки оснащают универсальными приспособлениями и подъемно-транспортными средствами. Оборудование (станки, прессы и др.), используемое при сборке, размещают так, чтобы оно было доступно для рабочих с разных рабочих мест.

Ограниченность площадей рабочих мест не допускает размещения на них большого числа рабочих. Вследствие этого сокращаются возможности совмещения во времени выполнения различных переходов сборочного процесса. В результате сборку чаще приходится вести последовательно, из-за чего цикл сборки удлиняется.

Неодинаковая трудоемкость изделий, различия в уровне квалификации и интенсивности труда рабочих создают трудности в организации ритмичной работы рабочих и бригад, приводят к удлинению цикла сборки и неравномерному выпуску собираемых объектов в единицу времени. Техничко-экономические показатели такой формы организации производственного процесса сборки изделий сравнительно невысоки.

Областью экономичного использования непоточной стационарной сборки является единичное и мелкосерийное производство.

При увеличении объема выпуска одинаковых изделий создается возможность перехода к *непоточной подвижной сборке*. Ее особенностью является то, что в процессе сборки объект периодически перемещается от одного рабочего места на другое. Сборочные операции выполняют отдельные рабочие или бригады рабочих, специализирующиеся на определенных работах.

Все рабочие места связывают с помощью транспортных устройств (рольгангов: рельсовых тележек и др.). Окончив выполнение всех переходов, составляющих операцию, рабочий перемещает собираемый объект к следующему рабочему месту. Для компенсации колебаний затрат времени на выполнение сборочных операций между смежными рабочими местами создаются межоперационные заделы собираемых объектов. Это позволяет сборщику, закончившему операцию раньше сборщика, работающего на предшествующей операции, продолжать работу за счет задела.

Рабочие места оборудуют необходимыми верстакими, сборочными и контрольно-измерительным инструментом, стеллажами для сборочных единиц и деталей.

Более высокое техническое оснащение рабочих мест, а также их связь с помощью транспортных средств существенно способствуют

повышению производительности труда. Рабочие вынуждены придерживаться установленного ритма в работе и не задерживать работу своих соседей. В сравнении с непоточной стационарной сборкой данная форма организации производственного процесса обеспечивает более высокий уровень технико-экономических показателей. Непоточную стационарную сборку применяют в серийном производстве.

Дальнейшее увеличение числа одинаковых изделий, подлежащих сборке, делает экономичным использование поточной сборки, обеспечивающей при прочих равных условиях наиболее высокую производительность труда и соответствующий уровень технико-экономических показателей.

Одной из форм поточной сборки является *стационарная сборка*, при которой все собираемые объекты на протяжении всей сборки остаются на рабочих местах или стендах. Рабочие же или бригады по сигналу одновременно переходят от одних собираемых объектов к другим через промежутки времени, равные такту.

Каждый рабочий (бригада) выполняет закрепленную за ним (нею) одну и ту же операцию на каждом из собираемых объектов. Узкая специализация рабочих способствует повышению качества и производительности труда.

Основным преимуществом поточной стационарной сборки является работа с установленным тактом, результатом чего являются равномерный выпуск продукции и более короткий цикл сборки.

Область экономичного использования поточной стационарной сборки является серийное производство машин, отличающихся большими габаритными размерами и массой или же недостаточной жесткостью базирующих деталей. Примерами машин, сборку которых ведут с использованием рассматриваемой формы организации производственного процесса, могут быть тяжелые автомобили, самолеты, крупные дизели, тяжелые станки и т.п., изготовляемые серийно.

Использование *поточной подвижной сборки* с непрерывно или периодически перемещающимися собираемыми объектами становится экономичным при выпуске одинаковых изделий в значительных количествах. Такую форму организации процесса сборки широко используют, например, на автомобильных заводах, производящих однотипные автомобили в объемах, исчисляемых сотнями тысяч в год.

Для перемещения собираемых объектов используют различного рода конвейеры (ленточные, цепные, рамные и др.). Ленточные конвейеры используют при сборке изделий небольших габаритных размеров и массы, например, часов, небольших электродвигателей, карбюраторов и т.п. Цепные конвейеры осуществляют перемещение рельсовых тележек с установленными на них приспособлениями, в

которых закрепляют объекты сборки. Для станкостроительных заводов удобны рамные конвейеры. Рамный конвейер представляет собой сварную раму, опирающуюся на гидравлические домкраты и находящуюся ниже уровня пола или стендов. Над рамой размещают собираемые объекты, находящиеся в разных стадиях сборки. По завершении операций сборки рама одновременно поднимает все стоящие над ней объекты и перемещает их поступательно на один шаг. Затем рама опускается ниже уровня пола и возвращается в исходное положение, а все собираемые объекты оказываются расположенными на следующих рабочих местах.

В массовом производстве широко используют подвесные цепные конвейеры, освобождающие площадь пола и улучшающие работу сборщиков. Например, на конвейерах такого вида собирают автомобили на Волжском автомобильном заводе (ВАЗ). Собираемый автомобиль на непрерывно движущемся конвейере находится в подвешенном состоянии. Длина конвейера около 2 км. Такт выпуска составляет 1 мин.

При поточной подвижной сборке рабочие места располагают по обе стороны конвейера и оснащают приспособлениями, монтажно-сборочным и измерительным инструментом, стеллажами для деталей и сборочных единиц, необходимых для сборки машин. Если конвейер находится в непрерывном движении, сборщик выполняет операцию, следуя за конвейером, а затем возвращается в исходное положение и приступает к выполнению операции на следующем объекте.

Скорость непрерывно движущегося конвейера лимитируется физиологическими возможностями человека и находится под контролем службы охраны труда.

Поточное производство строят с таким расчетом, чтобы обеспечить "сквозной поток" всех объектов производства от поступления в цех до выхода готовой продукции. С этой целью линии изготовления деталей планируют так, чтобы оборудование для выполнения последних операций непосредственно примыкало к тем местам сборочного конвейера, где эти детали требуются по ходу сборки.

Для поточных форм организации производственного процесса расчетное число рабочих мест или позиций, которые должен пройти собираемый объект,

$$q = \frac{T_o - T_c}{(\tau - t_{\text{п}}) \gamma}, \quad (8.3)$$

где T_o — расчетная трудоемкость всех переходов сборки одного объекта; T_c — расчетная трудоемкость переходов, совмещенных с выполне-

нием других переходов; τ — расчетный такт сборки; $t_{\text{п}}$ — время, необходимое для транспортирования собираемого объекта от одного рабочего места к другому с периодическим перемещением объекта, или время возвращения рабочего по окончании выполнения операции при непрерывно движущемся объекте сборки в исходное положение; γ — число параллельных потоков, необходимых для сборки одинаковых изделий при заданном объеме выпуска.

Основные преимущества поточного производства по сравнению с непоточным следующие: более высокая производительность производственного процесса; более короткий цикл изготовления изделий; более высокие технико-экономические показатели (выпуск продукции на единицу площади, на единицу оборудования, на одного работающего и т.п.); большее постоянство качества продукции; значительное упрощение планирования, управления и учета; значительное снижение себестоимости.

К недостаткам поточного производства относится, прежде всего, сложность перехода к изготовлению новых изделий. Такой переход требует больших затрат на проектирование и изготовление нового технологического оборудования, технологической оснастки, режущего инструмента, подъемно-транспортного оборудования и т.д. Все это снижает гибкость производства и вынуждает длительное время выпускать изделия по неизменяемым чертежам.

Несмотря на это, преимущества поточного производства столь велики, что его внедрение является одним из могучих средств повышения производительности и снижения себестоимости продукции.

8.3. ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Структура временных связей в производствах разного вида и форм организации во многом предопределяется оперативным планированием. Каждой форме организации производственного процесса присущи свои методы оперативного планирования. Однако его цель едина и сводится к тому, чтобы наивыгоднейшим образом вписать в фонды времени, которыми располагает каждая единица оборудования или рабочее место, затраты времени на выполнение технологических процессов изготовления изделий. В конечном счете оперативное планирование сводится к выработке сменного или суточного задания на изготовление изделий, сообразуясь с календарным планом и производственными возможностями цеха, участка и отдельного оборудования.

8.1. Содержание сменного задания

Наименование детали	Объем партии	Затраты времени на изготовление одной детали	Затраты времени на изготовление партии деталей
N_1	m_1	t_1	$m_1 t_1$
N_2	m_2	t_2	$m_2 t_2$
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
N_9	m_9	t_9	$m_9 t_9$

Задача оперативного планирования в условиях единичного и мелкосерийного производства, где номенклатура изделий широка, заключается в обеспечении выполнения заказов в срок при полной и равномерной загрузке рабочих мест. Решение этой задачи может быть проиллюстрировано на примере участка, имеющего три станка-дублера.

Пусть сменным заданием предусмотрено выполнение ряда операций по изготовлению N_n наименований деталей партиями по m_n шт. Сменное задание может быть выражено также в затратах времени t_i на выполнение операций над партиями m_i :

$$N_1 : m_1, N_2 : m_2, \dots, N_n : m_n \in N \rightarrow \sum_{i=1}^n m_i t_i.$$

При $n = 9$ сменное задание может быть представлено в виде табл. 8.1.

Разумеется, что наиболее желательным был бы вариант сменного задания, при котором

$$1) \quad \sum_{i=1}^{n=9} m_i t_i = \sum_{j=1}^{p=3} \Phi_{nj}, \quad (8.4)$$

где p — число станков, участвующих в выполнении сменного задания;

2) исполнение заказов было распределено между станками так, чтобы фонды времени, которыми они располагают, были полностью использованы (рис. 8.3, а).

Возможно, что распределение $m_i t_i$ относительно фондов времени Φ_{nj} в другой комбинации могло бы и не удовлетворить условие (8.4), из-за чего объем сменного задания пришлось бы уменьшить.

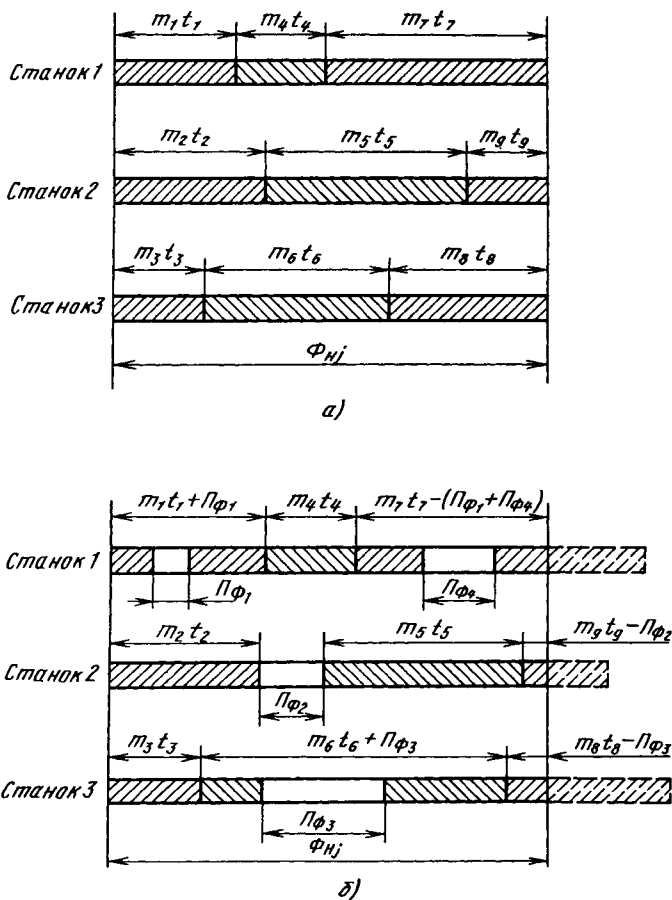


Рис. 8.3. Желаемая (а) и реальная (б) загрузка станков в течение смены

Вследствие того, что производственный процесс является вероятностной системой, его осуществление сопровождается случайными событиями, приводящими к непредсказуемым потерям фондов времени. Если предположить, что в рассматриваемом примере потери фондов времени возникли в моменты, показанные на рис. 8.3, б, то намеченный ход производственного процесса будет нарушен, и сменное задание окажется невыполненным.

Отсюда следует, что во всех типах производств сменные задания должны составляться с учетом возможных потерь фондов времени, а

условием выполнения сменного задания подразделением предприятия будет служить неравенство

$$\frac{\sum_{j=1}^p \Phi_{nj} - \sum_{k=1}^p \Pi_{\Phi k}}{\sum_{i=1}^n m_i t_i} \geq 1.$$

Рассмотренный пример разъясняет смысл оперативного планирования, но не дает представления о его сложностях.

Основная трудность планирования в единичном и мелкосерийном производстве заключается в сложности комплексного решения задачи выполнения каждого заказа из многочисленных позиций плана в назначенный срок и полной, равномерной загрузкой работающих и оборудования.

При разработке сменного или суточного задания необходимо выполнить следующее:

охватить всю номенклатуру изделий, подлежащих изготовлению в данный отрезок времени согласно календарного графика, и незавершенное производство;

отобрать заказы для данной смены (суток);

определить трудоемкость различных видов работ (токарных, фрезерных, сверлильных и др.);

сопоставить объемы различных видов работ с производственными возможностями технологического оборудования;

выявить материальную обеспеченность задания заготовками, инструментами, технологической оснасткой, комплектующими изделиями и пр.;

скорректировать проведенный отбор заказов;

распределить выполнение работ между технологическим оборудованием, стремясь к максимальной загрузке его и работающих;

установить последовательность выполнения заказов во времени с учетом их приоритетов.

Обычно сменные или суточные задания выдаются с опережением в 18—20 ч. За это время могут значительно измениться условия, для которых было разработано задание. Это вынуждает корректировать задание не только до начала планируемой смены, но и в ходе смены. В результате наблюдений, проведенных в цехах мелкосерийного производства на некоторых станкостроительных заводах, обнаружили выполнение сменных заданий на 18—27 %. При этом срывов в выполнении месячных, квартальных, годовых планов не было. Столь

низкий процент выполнения сменных заданий объясняется просто. К началу смены поступили указания о срочном изготовлении каких-то изделий, не предусмотренных заданием, вышли из строя несколько станков, не оказалось на складах нужных заготовок и инструментов, опоздало поступление технической документации, обнаружилась необходимость внесения изменений в чертежи каких-то изделий, не вышли на работу несколько рабочих и т.д.

Сложность составления и множество случайных событий нередко заставляют отказываться от сменных заданий и планировать работу на более длительные периоды, например на неделю или даже месяц. Рабочим в таких случаях выдают наряды или перечень работ, обеспечивающие их загрузку на протяжении планируемого периода и вменяют в обязанность самим решать, как организовать свою работу. Стремление к более высокому заработку стимулирует лучшую организацию и производительность труда.

В серийном производстве, при устойчивой номенклатуре изделий, оперативное планирование подчинено планомерному обеспечению сборки комплектующими изделиями (детальями, сборочными единицами и полуфабрикатами). Для этого на цеховых и общезаводском складах создают не уменьшающийся уровень заделов комплектующих изделий. Планирование работ ведут в соответствии с потребностями складов.

Запуск изделий в производство осуществляют партиями. Объем партии определяют с учетом потребности склада, допускаемого уровня связывания средств в незавершенном производстве, длительности и стоимости перенастройки оборудования при переходе к изготовлению изделий другого наименования.

В массовом производстве, при больших объемах одинаковой продукции, оперативное планирование чрезвычайно упрощается. Оно сводится к закреплению за каждым рабочим местом выполнения одной и той же операции технологического процесса изготовления изделий одного наименования. Планом производства устанавливают число изделий, которое должно быть произведено в течение смены, суток и т.д.

Однако в массовом производстве оперативное планирование может быть сильно усложнено, если изготавливают машины разных модификаций. Например, легковые машины выпускают с разными кузовами и двигателями, разной комплектацией для использования на севере и на юге. Так, для работы на севере усиливают утепление кузова, обогрев кузова и стекол, для работы на юге автомобили снабжают кондиционерами, холодильниками, тропической резиной и пр. Легковые автомобили имеют более 30 расцветок и к кузову каждого цвета полагаются сидения, обивка и т.д. соответствующего цвета. Общие

число разных комплектаций может превышать 100 единиц. Для того чтобы к рабочему месту на сборочном конвейере в определенный момент времени было подано именно то, что нужно для данного собираемого автомобиля, необходимо практически непрерывно вносить коррективы в план производства каждого цеха.

В каждом виде организации производственного процесса применяют свои методы оперативного планирования. Задачу оперативного планирования во многом облегчает вычислительная техника, широко используемая в настоящее время. Подробно методы оперативного планирования рассмотрены в курсе "Организация, планирование и управление производством". Из того же, что было изложено выше, можно сделать следующие выводы.

1. Структура временных связей различна при разных видах и формах организации производственных процессов.

2. Структура временных связей в производственных процессах всех видов во времени не стабильна. Оперативное планирование лишь предопределяет ее. Однако случайные события вызывают отклонения в ходе производственного процесса. Неизбежность случайных отклонений требует постоянного внесения коррективов в структуру временных связей в соответствии с ситуацией, сложившейся в производственном процессе.

3. Для повышения эффективности производственного процесса необходимо сокращать затраты времени на выполнение операций и случайные потери фонда времени.

Затраты времени на выполнение операций нормируются при разработке технологических процессов изготовления изделий. Нормы времени, устанавливаемые на отдельные технологические операции, являются основой планирования.

Неправильные нормы времени приводят к значительным погрешностям в планировании, нарушают ритмичность производства и снижают выпуск продукции. Отдавая должное важности технически обоснованной нормы времени, необходимо рассмотреть методы ее назначения.

8.4. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ

Нормой времени называют регламентируемые затраты времени t , необходимые для выполнения данной операции в нормальных производственных условиях. Норма времени может быть установлена расчетным, укрупненных нормативов, статистическим или опытным методом.

Норма времени, определяемая расчетом, ориентирована на передовую технологию, исправное оборудование, нормальные условия и

организацию труда надлежащей квалификации. Для расчета нормы времени t используют формулы (8.1) и (8.2).

Подготовительно-заключительное время $t_{п.з}$, затрачиваемое на всю партию изготавливаемых изделий, устанавливают по нормативам, учитывающим тип и размеры технологического оборудования, особенности применяемых приспособлений, конструкцию и массу заготовок и т.п. В массовом производстве, стабильно производящем в больших количествах одинаковую продукцию, доля подготовительно-заключительного времени практически сводится к нулю и не включается в норму времени t .

При определении нормы штучного времени $t_{шт}$ технологическую операцию расчленяют на элементы, составляющие ее (переходы, рабочие ходы и приемы). В сумме поэлементные нормативные затраты времени дают норму оперативного времени $t_{оп}$:

$$t_{оп} = t_{о.т} + t_{в}.$$

Норму основного технологического времени на выполнение перехода, если оно является машинным $t_{м}$, определяют расчетом. При всех станочных работах норма машинного времени представляет собой отношение произведения пути рабочего хода инструмента и числа рабочих ходов к его минутной подаче. Для токарных, сверлильных, резьбонарезных работ, для зенкерования, развертывания и фрезерования

$$t_{о.т} = t_{м} = Lk/S = Lk/nS_{об},$$

где L — длина рабочего хода инструмента, мм; k — число рабочих ходов; S — минутная подача инструмента, мм/мин; n — частота вращений шпинделя, мин^{-1} ; $S_{об}$ — подача на один оборот шпинделя.

Длина рабочего хода инструмента относительно заготовки (при фрезеровании наоборот) представляет собой сумму трех слагаемых (рис. 8.4):

$$L = l_1 + L_{д} + l_2,$$

где $L_{д}$ — длина обрабатываемой поверхности; l_1 — врезание (вход) инструмента; l_2 — выход инструмента.

Если основное технологическое время является ручным, то его определяют по нормативам, разработанным для различных работ, например, слесарно-сборочных.

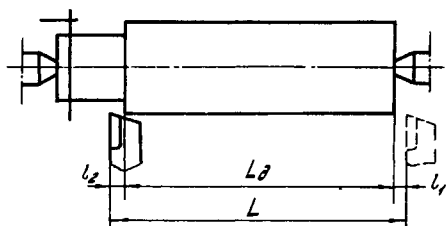


Рис. 8.4. Длина рабочего хода инструмента

Норма вспомогательного времени t_v охватывает затраты времени на вспомогательные приемы, необходимые для осуществления перехода. Чаще такие приемы выполняют вручную и назначают затраты времени по нормативам. В нормативах указаны нормы времени, например, на установку и снятие заготовок разных размеров и массы, подвод режущего инструмента к заготовке, включение и отключение рабочей подачи, отвод инструмента в исходное положение и др.

Вспомогательные переходы могут быть механизированы и автоматизированы. Например, установку и снятие заготовок может выполнять робот, инструмент к заготовке может подводиться с использованием механизма ускоренной подачи и т.п. В таких случаях имеется возможность норму вспомогательного времени на выполнение перехода рассчитать.

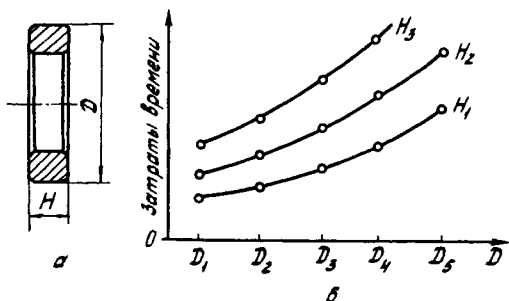
Нормы времени $t_{об}$ обслуживания рабочего места и времени t_d дополнительного устанавливают в процентах от оперативного времени в соответствии с нормативами.

Расчитанные изложенным методом нормы проверяют, уточняют при внедрении технологического процесса и сохраняют до внесения в технологический процесс какого-либо усовершенствования. Всякое улучшение технологического процесса сопровождается пересмотром норм времени.

Расчетный метод нормирования трудоемков, вследствие чего его чаще применяют в массовом производстве. По мере того, как число одинаковых изделий, подлежащих изготовлению, уменьшается, должны сокращаться и расходы на нормирование. В таких случаях рационально пользоваться методом укрупненных нормативов, создаваемых на базе расчетного метода.

Для разработки таких нормативов группируют близкие по служебному назначению детали, но отличающиеся размерами, например, гладкие втулки, кольца, фланцы, зубчатые колеса одной степени точности и т.п. Используя расчетный метод, нормируют операции технологических процессов изготовления отдельных представителей групп. Полученные нормы времени в виде точек наносят на графики.

Рис. 8.5. Кольцо (а) и зависимость затрат времени на его изготовление от диаметра D и толщины H (б)



По оси ординат откладывают затраты времени на выполнение операции, на оси абсцисс — один из размеров изготавливаемой детали, характеризующий затраты времени на операцию. Нанесенные точки соединяют плавной кривой. С помощью такого графика можно устанавливать нормы времени на выполнение операции по изготовлению деталей промежуточных размеров.

Если норма времени зависит от двух размеров (рис. 8.5, а), то строят семейство кривых, позволяющих учесть зависимость нормы времени и от другого размера (рис. 8.5, б).

По мере усовершенствования технологического процесса норма времени должна быть пересмотрена. Для этого нормируют операцию для одной детали и сдвигают графики норм времени на разницу между старой и новой нормой времени избранной детали.

При использовании статистического метода норму времени устанавливают на основании статистических данных о затратах времени на выполнение аналогичных операций на станках одинакового типоразмера.

Свое название опытный метод нормирования получил в связи с тем, что нормирование поручается лицу, обладающему большим производственным опытом и использующему его при назначении нормы времени.

Оба метода получили название суммарного нормирования, так как нормы времени устанавливают сразу на всю операцию без раскрытия структуры затрат времени. К тому же эти методы учитывают уровень производительности труда, достигнутый в прошлом, и не учитывают возможностей новой техники и более совершенной организации производства. Несмотря на столь существенные недостатки, статистический и опытный методы нормирования используют в мелкосерийном и единичном производствах, так как они требуют малых затрат времени и расходов на нормирование.

8.5. ПУТИ СОКРАЩЕНИЯ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ОПЕРАЦИИ

Направления в сокращении затрат времени t на выполнение операций указывают формулы (8.1) и (8.2).

Пути сокращения подготовительно-заключительного времени

Согласно формуле (8.1) долю подготовительно-заключительного времени $t_{п.з}$ в затратах времени на выполнение операции можно уменьшить путем либо непосредственного уменьшения $t_{п.з}$, либо увеличения объема партии изготавливаемых изделий.

Затраты времени на подготовку к работе слагаются из времени t_0 получения и ознакомления рабочего с заданием, времени $t_{и}$ получения и установки на станке инструментов и приспособлений и времени t_c статистической настройки технологической системы:

$$t_{п.з} = t_0 + t_{и} + t_c.$$

Сокращению затрат времени t_0 способствует четкость в постановке задачи, исчерпывающе и ясно написанный технологический процесс и легко читаемый чертеж. Обеспечение этих требований ложится на инженерно-технический состав.

Своевременная доставка к рабочему месту чертежей, технологической документации, управляющих программ, инструментов, приспособлений и заготовок зависит от совершенства организации производства. При хорошей организации рабочему не приходится тратить время на получение всего необходимого для осуществления операции.

Для уменьшения затрат времени на установку приспособлений и инструмента на станке обычно используют методы взаимозаменяемости. Их требуемое положение на станке достигается путем соприкосновения поверхностей основных баз приспособления или инструмента с исполнительными поверхностями станка и последующего закрепления. Формы поверхностей, по которым осуществляется сопряжение, негативны.

Значительная доля подготовительно-заключительного времени приходится на статическую настройку технологической системы. Использование различных регулировочных устройств, позволяющих быстро и с достаточной точностью придать инструменту требуемое положение в системе координат технологической системы, существен-

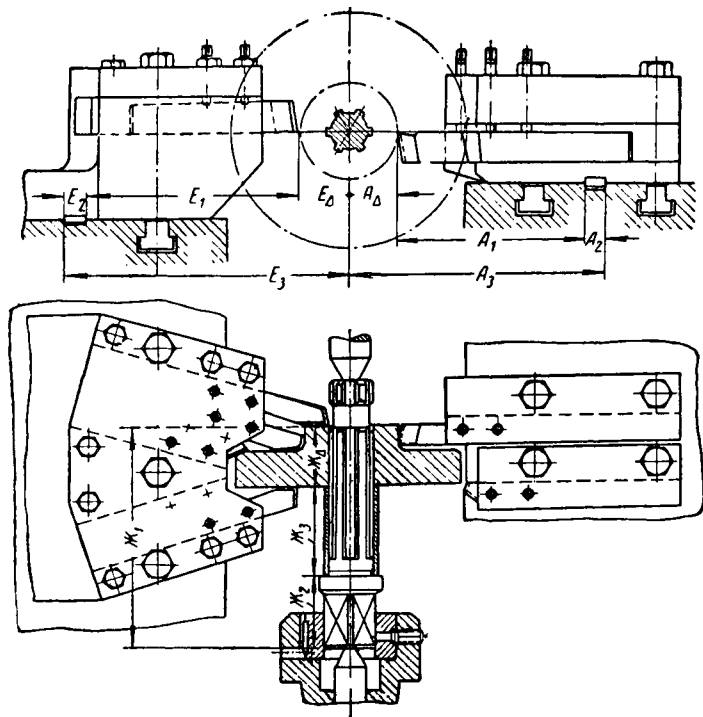


Рис. 8.6. Схема настройки токарного многорезцового полуавтомата, не имеющего устройств для регулирования положения резцов

но облегчает задачу статической настройки. На рис. 8.6 приведена схема обработки заготовки зубчатого колеса на токарном многорезцовом полуавтомате. При настройке станка на получение размеров A_{Δ} , E_{Δ} и $Ж_{\Delta}$ резцы приходится перемещать легкими ударами молотка и затрачивать много времени. Эта же задача будет решаться значительно быстрее и точнее, если резцедержатели станка снабдить регулируемыми опорами с винтами (рис. 8.7).

С целью ускорения процесса настройки технологической системы широко используют сменные резцедержатели, револьверные головки и сменные инструментальные магазины с заранее настроенным инструментом. На агрегатных станках, предназначенных для изготовления деталей нескольких наименований, делают сменными шпиндельные коробки. Если масса заменяемой технологической оснастки значительна, то рабочее место оснащают подъемными средствами.

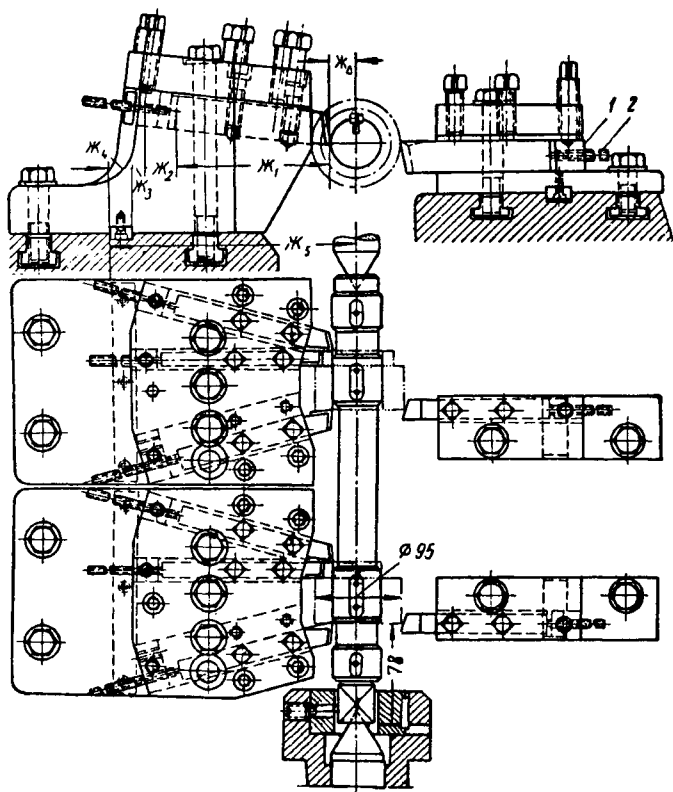


Рис. 8.7. Схема настройки токарного многолезцового полуавтомата, снабженного регулируемыми опорами 1 и винтами 2 для установки резцов

Для ускорения настройки станков с программным управлением (ПУ), более длительной, чем обычных станков, применяют оптические устройства, измерительные головки, контрольные оправки, центроискатели и другие виды технологической оснастки. С помощью такой оснастки удается быстрее придать требуемое исходное положение в пространстве системам координат, связанным с приспособлением, заготовкой, режущим инструментом, и согласовать с управляющей программой местоположение нуля станка и исходной точки инструмента.

Особо ощутимы затраты времени на настройку станков с ЧПУ в мелкосерийном производстве. Изготовление деталей малыми

партиями вынуждает часто перенастраивать станки. В связи с этим в машиностроении весьма актуальной является проблема автоматической перенастройки станка с переходом к изготовлению деталей другого наименования.

Пути сокращения штучного времени

Из анализа формулы (8.2) штучного времени следует, что оно может быть сокращено главным образом за счет оперативного времени $t_{оп} = t_{о.т} + t_{в}$, поскольку доля остальных слагаемых в штучном времени не велика. Сокращение $t_{оп}$ может быть достигнуто путем либо уменьшения $t_{о.т}$ и $t_{в}$, либо полным или частичным совмещением во времени переходов в операции.

Пути сокращения основного технологического времени, если оно является машинным, указывает формула:

$$t_{м} = \frac{(l_1 + L_{д} + l_2) k}{nS_{об}}$$

Сокращение машинного времени может быть достигнуто за счет уменьшения пути $l_1 + L_{д} + l_2$ относительного движения с рабочей подачей инструмента и заготовки; сокращения числа рабочих ходов k ; повышения режимов обработки; совмещения во времени основных переходов.

Наибольший эффект в уменьшении пути рабочего хода инструмента получается при распределении длины $L_{д}$ обрабатываемой поверхности заготовки между несколькими режущими инструментами. Так, обработка поверхности вала двумя резцами (рис. 8.8) дает сокращение $t_{м}$ почти вдвое по сравнению с обработкой той же поверхности одним резцом:

$$t_{м} = \frac{(l_1 + 0,5L_{д} + l_2) k}{nS_{об}}$$

Пределом дальнего увеличения числа одновременно работающих резцов была бы режущая кромка, длина которой равнялась бы длине обрабатываемой поверхности. Это привело бы к обработке заготовки методом врезания, при котором длина рабочего хода инструмента сократилась бы до значения припуска на обработку плюс

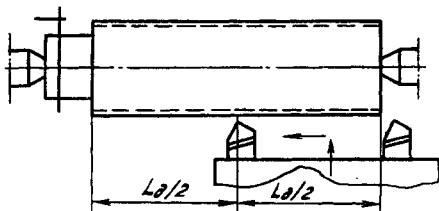
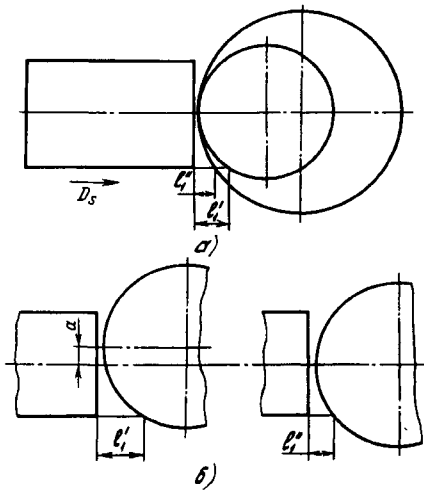


Рис. 8.8. Распределение длины обрабатываемой поверхности между двумя резцами

Рис. 8.9. Способы уменьшения "недобега" инструмента



некоторое значение на вход инструмента. Машинное время при этом могло бы быть существенно сокращено. К сожалению, современные станки, в большинстве своем, не обладают достаточной мощностью и жесткостью, чтобы вести обработку поверхностей значительной протяженности с подачей, направленной перпендикулярно к обрабатываемой поверхности. Однако можно привести примеры обработки инструментами с длинной режущей кромкой. Одним из них может служить

окончательная обработка строганием направляющих станин станков широкими резцами, имеющими длину режущей кромки до 200 мм. Другим примером может быть так называемое силовое шлифование, ведущееся кругами большой ширины и имеющими негативный профиль по отношению к обрабатываемым поверхностям.

Сокращение пути относительного движения инструмента и заготовки с рабочей подачей может также осуществляться за счет длин на вход и на выход режущего инструмента. На рис. 8.9, а показано уменьшение l_1 путем увеличения диаметра фрезы, а на рис. 8.9, б — за счет совмещения оси фрезы с плоскостью симметрии заготовки. В обоих случаях $l_1'' < l_1'$. Уменьшению длин на вход и выход режущего инструмента способствуют повышение точности работы механизмов включения рабочей подачи, точности размеров заготовки в направлении рабочей подачи, точности ее базирования.

Число рабочих ходов k зависит от припуска на обработку, мощности станка и требований к точности получаемых размеров. Достичь сокращения числа рабочих ходов можно приближением размеров и формы заготовок к размерам и форме готовой детали. Достижению этой же цели могут способствовать устройства адаптивного управления упругими перемещениями в технологических системах.

Обеспечивая постоянство силы резания, адаптивная система управления упругими перемещениями делает технологическую систему менее чувствительной к изменению припусков. Это свойство адаптивного управления позволяет снизить число рабочих ходов,

необходимых при обычной обработке, и повысить точность выдерживаемых размеров. Повышение же точности заготовки на предшествующих операциях позволяет, как правило, сократить число рабочих ходов на последующих операциях.

Одним из эффективных средств уменьшения машинного времени является повышение режимов обработки. Выбор режимов тесно связан с требуемой точностью детали, качеством поверхностных слоев материала и стойкостью режущего инструмента.

Выбор подачи лимитирует допускаемая при обработке сила резания, от значения которой зависят упругие перемещения в технологической системе и качество поверхностного слоя обрабатываемой поверхности заготовки. Скорость резания лимитируется размерной стойкостью режущего инструмента и количеством образующейся в процессе резания теплоты, деформирующей технологическую систему и влияющей также на качество поверхностного слоя.

Таким образом, установление режимов обработки должно быть основано на экономичном достижении требуемого качества изготавливаемых деталей.

Повышение режимов обработки таит в себе значительные резервы сокращения машинного времени. Новые высокостойкие инструментальные материалы и более совершенные конструкции инструментов, расширение диапазонов скоростей движения рабочих органов станков, оснащение станков автоматическими системами управления точностью создают возможности для использования этих резервов и повышения производительности процессов обработки заготовок.

Не менее эффективные результаты в сокращении машинного времени при выполнении операции дает совмещение во времени основных переходов. Примером такого совмещения может служить обработка поверхностей различных диаметров заготовки блока зубчатых колес на многорезцовом станке 12-ю инструментами (рис. 8.10). Машинное время, затрачиваемое на всю операцию, будет равно в этом случае машинному времени наиболее длительного основного перехода: $t_M = t_{oi}^{нб}$, где t_{oi} — затраты времени на выполнение i -го основного перехода.

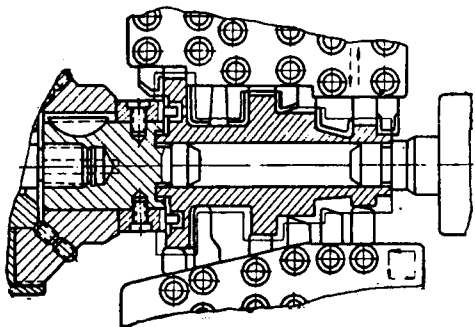


Рис. 8.10. Совмещение во времени основных переходов при многорезцовой обработке заготовки блока зубчатых колес

Совмещение основных переходов во времени широко распространено в массовом и серийном производстве. Для максимального совмещения основных переходов создают многоинструментные наладки, агрегатные многошпиндельные сверлильные, расточные, фрезерные и другие станки.

Сокращение основного технологического времени, если оно является ручным, может быть достигнуто механизацией ручного труда. Наибольший объем ручного труда приходится на сборку изделий, поэтому облегчение труда сборщиков с помощью технологической оснастки и оборудования является актуальной задачей. Механизации подлежат перемещения сборочных единиц и деталей к местам сборки, их перемещения в процессе сборки, придание требуемого относительного положения соединяемым деталям и его фиксация, работы, связанные с регулированием, пригонкой, испытанием собранных сборочных единиц и машин, их отделкой и пр. Выбор средств механизации зависит от числа изделий, выпускаемых в единицу времени и по неизменяемым чертежам, и форм организации производственного процесса.

Доля вспомогательного времени в оперативном времени может быть значительной, а в ряде случаев и превосходить основное технологическое время. Повышение режимов обработки, применение новых видов инструментов, оснащенных твердыми и сверхтвердыми материалами, внедрение более быстроходного и мощного оборудования способствует дальнейшему возрастанию доли вспомогательного времени. Часто уменьшение машинного времени не дает ощутимого эффекта, так как его доля в оперативном времени незначительна. Отсюда следует, что сокращение вспомогательного времени во многих случаях является решающим фактором в увеличении производительности труда и производственных процессов.

Вспомогательное время может быть сокращено двумя путями: непосредственным сокращением времени, затрачиваемого на выполнение вспомогательных переходов и совмещением выполнения вспомогательных переходов с основными переходами. Затраты времени на выполнение j -го вспомогательного перехода обозначим через $t_{вj}$.

Непосредственное сокращение вспомогательного времени возможно за счет уменьшения затрат времени на замену обработанной заготовки следующей из партии; увеличения скорости холостых перемещений рабочих органов станка; уменьшения затрат времени на управление оборудованием и приспособлениями; уменьшения времени, затрачиваемого на контроль за ходом технологического процесса.

Установка с требуемой точностью заготовок на станке может отнимать много времени. Например, установка и закрепление заготовок крупногабаритных деталей иногда занимает 8—12 ч. Применение специальных, универсальных и других видов приспособлений или нормализованных средств в виде опор, планок, подкладок и т.п. обеспечивает базирование деталей по правилу шести точек с меньшими затратами времени. Этому же способствует использование быстродействующих пневматических, гидравлических и электромеханических зажимов, встраиваемых в приспособления. При закреплении заготовок вручную важно сокращать число типоразмеров применяемых крепежных средств, число независимых зажимов и обеспечивать доступность мест закрепления. Затраты времени на закрепление заготовок вручную сокращает использование нормализованных крепежных средств в виде болтов, разрезных шайб, прижимных планок, пружин, поддерживающих прижимные планки, а также автономные пневматические и гидравлические приводы, устанавливаемые непосредственно на исполнительные поверхности станка.

Для уменьшения затрат времени на вспомогательные хода все современные станки оснащают механизмами ускоренных перемещений рабочих органов и автоматическими устройствами, обеспечивающими переход к рабочей подаче.

Скорость вспомогательных перемещений в станках непрерывно повышается. Тенденция ее повышения отчетливо прослеживается на примере многоцелевых станков типа обрабатывающий центр (ОЦ). Если в 70-е годы скорость вспомогательных ходов составляла 4—5 м/мин, то уже в начале 80-х годов она достигла 10—12 м/мин. Следует ожидать дальнейшего увеличения скорости вспомогательных ходов, так как в повышении производительности станков она является одним из главных факторов.

Время, затрачиваемое на управление станком и приспособлением, сокращают в результате концентрации управления в одном месте. На тяжелых станках пульта управления дублируют, что позволяет рабочему управлять станком с разных точек рабочего места. Введение механизмов ускоренных перемещений инструментов (заготовок) в исходное рабочее положение, устройств для быстрой смены инструментов, автоматизация управления ходом операции являются основными мерами по непосредственному сокращению вспомогательного времени.

Для того чтобы иметь представление о том, как протекает процесс обработки заготовок, рабочий систематически должен контролировать точность выдерживаемых размеров, состояние станка, приспособлений и инструментов. Время, затрачиваемое на это, может быть сокращено благодаря применению измерительных средств,

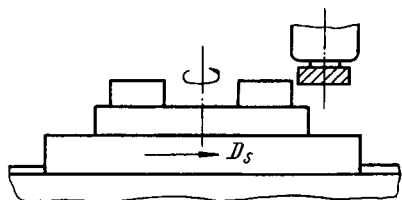


Рис. 8.11. Двухпозиционный стол станка

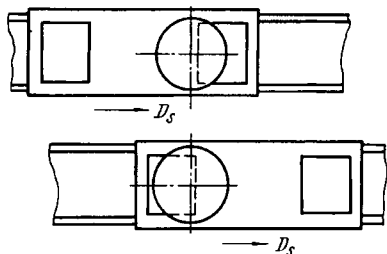


Рис. 8.12. Схема "маятниковой" обработки

встраиваемых в станок и показывающих во время обработки значения получаемых размеров, устройств цифровой индикации, непрерывно следящих и выдающих информацию об относительных перемещениях рабочих органов станков, устройств диагностики состояния станка и инструментов. Решению этой же задачи содействуют и устройства адаптивного управления, на которые может быть возложен выбор числа рабочих ходов, изменение режимов обработки в связи с изменением припусков и твердости заготовок, компенсация тепловых деформаций технологической системы и решение других задач.

К уменьшению оперативного времени приводит полное или частичное совмещение вспомогательных переходов с выполнением основных переходов. Примером такого совмещения может служить установка очередной заготовки на одном конце поворотного стола фрезерного станка в то время, как на другом его конце идет обработка предшествующей заготовки (рис. 8.11). По окончании обработки стол поворачивается на 180° , начинается обработка очередной заготовки, а на свободном конце стола обработанная заготовка заменяется новой.

Совмещение времени установки заготовки с ее обработкой может быть получено при "маятниковой" обработке (рис. 8.12). Сущность ее заключается в том, что во время обработки одной заготовки, установленной на одном конце стола станка, осуществляется смена другой, установленной на другом конце стола и ранее обработанной. После окончания обработки заготовки стол с ускоренной подачей подводит к инструменту очередную заготовку, и цикл повторяется. Примером воплощения принципа "маятниковой" обработки может служить продольно-фрезерный станок с двумя круглыми делительными столами (рис. 8.13).

С основными переходами могут быть совмещены замена инструментов в инструментальных магазинах, измерения заготовок в ходе обработки, изменения режимов обработки и другие вспомогательные приемы. Полное совмещение вспомогательных приемов с основными

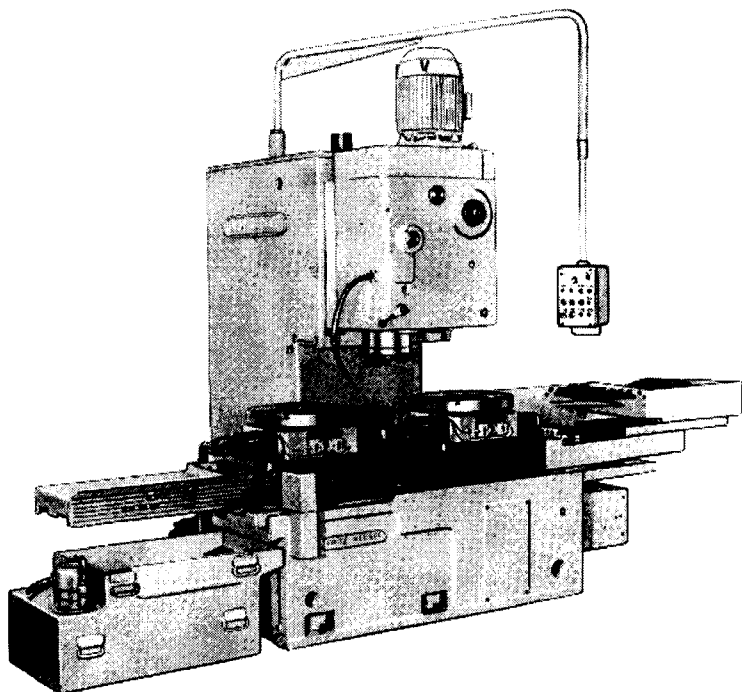


Рис. 8.13. Продольно-фрезерный станок с двумя круглыми делительными столами

приводит к тому, что оперативное время становится равным основному технологическому времени: $t_{оп} = t_{0.т}$.

Различные способы выполнения основных и совмещения с ними вспомогательных переходов приводят к разным структурам оперативного времени, т.е. к различному строению временных связей в операциях технологических процессов.

8.6. СТРУКТУРЫ ВРЕМЕННЫХ СВЯЗЕЙ В ОПЕРАЦИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Структуры оперативного времени в операциях могут отличаться в зависимости от способов выполнения основных переходов; степени совмещения с основными переходами выполнения вспомогательных переходов; числа потоков, дублирующих выполнение одинаковых переходов при изготовлении одноименных изделий.

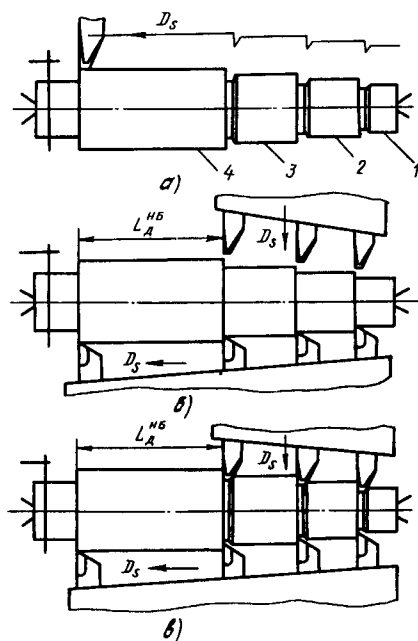


Рис. 8.14. Обработка заготовки вала последовательным (а), параллельно-последовательным (б) и параллельным (в) способами

При осуществлении операции основные переходы могут быть выполнены тремя способами: I — последовательно; II — параллельно-последовательно и III — параллельно.

При последовательной обработке заготовки выполнение основных переходов следует одно за другим, поэтому время, затрачиваемое на осуществление основных переходов,

$$t_{0.T} = \sum_{i=1}^p t_{0i},$$

где p — число основных переходов в операции.

Действительно, при обработке заготовки вала на гидрокопировальном станке последовательным способом (рис. 8.14, а) основное технологическое время равно сумме затрат времени на обработку поверхностей 1—4 и трех канавок.

При параллельно-последовательной обработке группа инструментов одновременно обрабатывает одни поверхности заготовки, а затем группа этих же (или других) инструментов обрабатывает другие (или те же) поверхности той же заготовки. Например, поверхности заготовки того же вала могли бы быть обработаны параллельно-последовательно на токарном многолезцовом станке, если сначала резцами, установленными на переднем суппорте, обработать цилиндрические поверхности, а затем резцами, установленными на поперечном суппорте, проточить три канавки (рис. 8.14, б). Время, затраченное на две группы основных переходов, составила бы сумма времени выполнения наиболее длительных переходов в каждой из групп основных переходов:

$$t_{0.T} = \sum_{i=1}^r t_{0i}^{нб},$$

где r — число групп основных переходов.

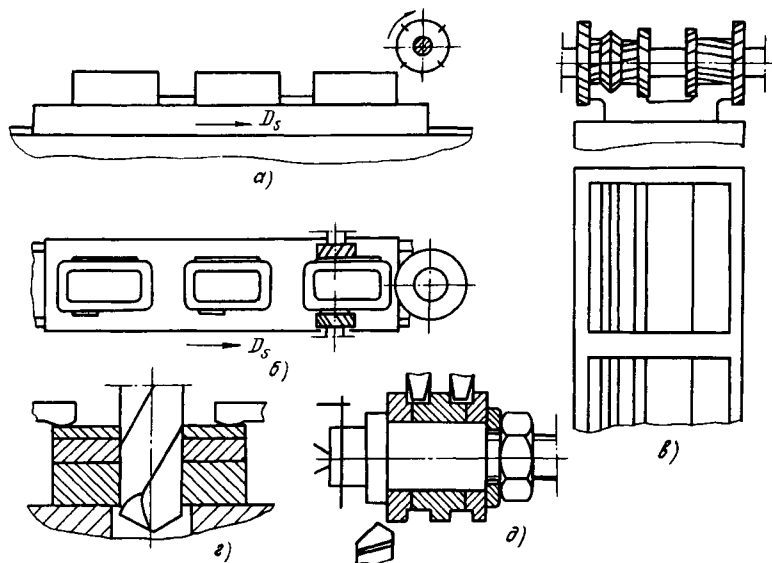


Рис. 8.15. Три способа осуществления основных переходов при многоместной обработке

Параллельный способ обработки характеризуется одновременностью обработки поверхностей заготовки многими инструментами, поэтому основное технологическое время равно наибольшему времени обработки одной или нескольких поверхностей, равноценных по затратам времени:

$$t_{0.т} = t_{0i}^{нб}$$

На этом же токарном многолезцовом станке обработка цилиндрических поверхностей и канавок могла бы быть совмещена во времени, т.е. вестись параллельно (рис. 8.14, в). В этом случае основное технологическое время, видимо, равнялось бы времени обработки поверхности $L_{д'}$, имеющей наибольшую длину.

Последовательное, параллельно-последовательное и параллельное выполнение основных переходов можно вести как при одноместной (рис. 8.14), так и многоместной обработке. На рис. 8.15 приведены примеры использования трех способов осуществления основных переходов при многоместной обработке заготовок одинаковых

(рис. 8.15, а, б, в) и разных деталей (рис. 8.15, з, д). Оперативное время $t_{оп}$, приходящееся при многоместной обработке на одну заготовку, будет равно оперативному времени $t_{оп}^n$ обработки n заготовок, отнесенному к числу n :

$$t_{оп} = t_{оп}^n / n.$$

Затраты времени $t_{в}$ на выполнение вспомогательных переходов могут быть разложены на составляющие их элементы:

$$t_{в} = t_{с.у} + t_{упр} + t_{х} + t_{к},$$

где $t_{с.у}$ — время, затрачиваемое на установку и съем заготовки; $t_{упр}$ — время, затрачиваемое на управление станком и приспособлением; $t_{х}$ — время вспомогательных ходов (подводов заготовки к инструментам или наоборот, поворотов и фиксации положения столов, револьверных головок, смены инструментов и т.п.); $t_{к}$ — время, затрачиваемое на контроль за ходом технологического процесса.

Для упрощения структуры вспомогательного времени представим его в виде двух слагаемых: $t_{с.у}$ и $t_{х}$, включив в состав последнего все остальные виды вспомогательных переходов. Будем считать, что

$$t_{в} = t_{с.у} + t_{х}.$$

Вспомогательные переходы могут сочетаться с основными переходами при всех способах выполнения основных переходов и быть *А* — несовмещенными, *Б* — частично совмещенными, *В* — полностью совмещенными.

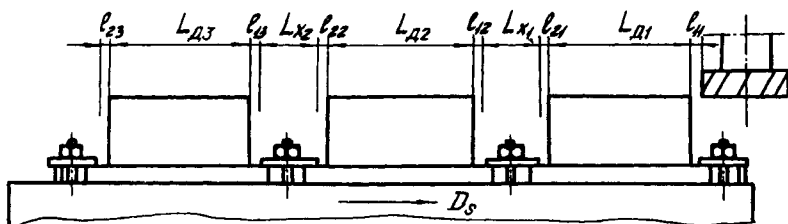


Рис. 8.16. Последовательная многоместная обработка заготовок на фрезерном станке

Когда ни основные, ни вспомогательные переходы не совмещены, оперативное время

$$t_{\text{оп}} = \sum_{i=1}^p t_{oi} + t_{c.y} + \sum_{j=1}^s t_{xj}, \quad (8.5)$$

где s — число вспомогательных ходов.

Применительно к многоместной последовательной обработке, примером которой может быть обработка трех заготовок корпусных деталей на фрезерном станке (рис. 8.16), формула (8.5) приобретает следующий вид:

$$t_{\text{оп}}^n = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (l_{1i} + L_{ди} + l_{2i})}{S} + \frac{\sum_{i=1}^{n-1} L_{xi}}{S_x} \right] k + nt_{c.y} + \sum_{j=1}^s t_{xj},$$

где L_x — путь, мм, вспомогательного хода стола с ускоренной подачей S_x , мм/мин; n — число заготовок, одновременно устанавливаемых на станке; k — число рабочих ходов.

Совмещение затрат времени $t_{c.y}$ на установку заготовки и съем детали с основными переходами возможно при наличии на станке отдельной установочной позиции. Такие позиции обычно предусмотрены на многопозиционных станках, примером которых может быть

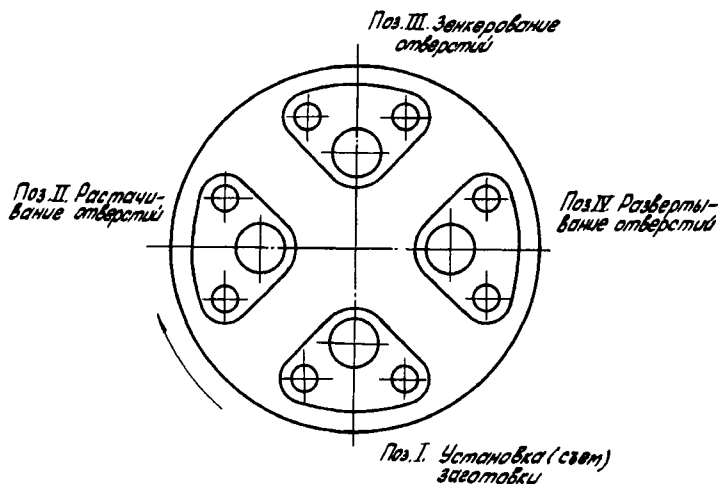
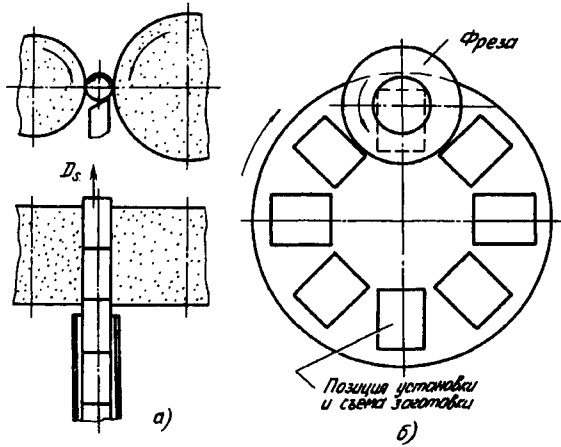


Рис. 8.17. Совмещение с основными переходами установки (съема) заготовки на четырехпозиционном агрегатном станке

Рис. 8.18. Полное совмещение установки (съема) заготовки и вспомогательных переходов с основными



четырепозиционный агрегатный станок с поворотным столом (рис. 8.17).

Полное совмещение $t_{c.y}$ и t_x со временем выполнения основных переходов достигается в непрерывных процессах, характеризующихся непрерывностью перемещения заготовок с рабочей подачей. Примерами непрерывных процессов могут быть бесцентровое шлифование поршневых пальцев (рис. 8.18, а) и непрерывное фрезерование плиток на карусельно-фрезерном станке (рис. 8.18, б).

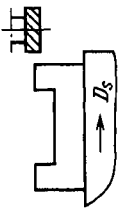


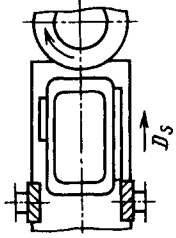
Нельзя считать непрерывными процессы, осуществляемые на многопозиционных роторных машинах, в которых за полный оборот ротора выполняются в позиции все переходы, составляющие операцию. Несмотря на то, что в роторных машинах заготовки непрерывно перемещаются вместе с инструментами, в выполнении основных переходов имеются разрывы, хотя бы даже при снятии готовой детали и установке новой заготовки.

Все многообразие структур оперативного времени в однопоточных процессах может быть сведено в табл. 8.1. Иллюстрация каждой позиции этой таблицы на примере фрезерования дана в табл. 8.2. Таблицы показывают, что однопоточные процессы в машиностроении могут иметь 12 структур технологических операций. Идя по клеткам таблицы слева направо и сверху вниз, можно проследить закономерность изменения структуры оперативного времени и предопределяемой ею производительности процесса на операции. Выбор структуры операции связан с объемом выпуска изделий и типом производства. В соответствии с ними, сначала выбирают структуру операции, а затем определяют компоновку технологического оборудования.

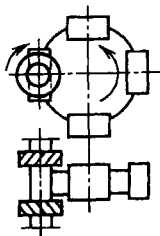
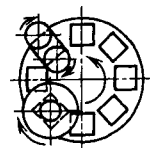
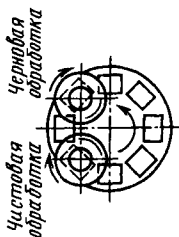
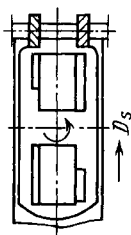
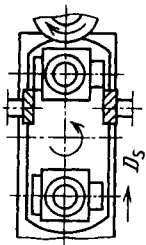
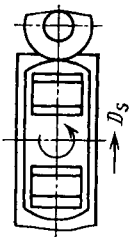
8.1. Структура оперативного времени изготовления одной детали в однопоточных процессах

Форма совмещения $t_{c,y}$ и t_x с t_o	Вид процесса	Оперативное время при выполнении основных переходов способами		
		I	II	III
A	Одноместная обработка с несовмещенными $t_{c,y}$ и t_x с t_o	$\sum_{i=1}^p t_{oi} + t_{c,y} + \sum_{j=1}^s t_{xj}$	$\sum_{i=1}^r t_{oi}^{нб} + t_{c,y} + \sum_{j=1}^s t_{xj}$	$t_{oi}^{нб} + t_{c,y} + \sum_{j=1}^s t_{xj}$
	Многоместная обработка с несовмещенными $t_{c,y}$ и t_x с t_o	$\frac{p \sum_{i=1}^n t_{oi} + n t_{c,y} + \sum_{j=1}^s t_{xj}}{n}$	$\frac{r \sum_{i=1}^n t_{oi}^{нб} + n t_{c,y} + \sum_{j=1}^s t_{xj}}{n}$	$\frac{n t_{oi}^{нб} + n t_{c,y} + \sum_{j=1}^s t_{xj}}{n}$
Б	Многопозиционный прерывный процесс с совмещенным $t_{c,y}$ и несовмещенным t_x с t_o	$\sum_{i=1}^p t_{oi} + \sum_{j=1}^s t_{xj}$	$\sum_{i=1}^r t_{oi}^{нб} + \sum_{j=1}^s t_{xj}$	$t_{oi}^{нб} + \sum_{j=1}^s t_{xj}$
B	Многопозиционный непрерывный процесс с совмещенными $t_{c,y}$ и t_x с t_o	$\sum_{i=1}^p t_{oi}$	$\sum_{i=1}^r t_{oi}^{нб}$	$t_{oi}^{нб}$

8.2. Эскизы, иллюстрирующие способы I—III фрезерования заготовок

Форма совмещения $t_{c,y}$ и t_x с t_o	Вид процесса	Способы фрезерования	
А	I		II
	Многоместная обработка с несовмещенными $t_{c,y}$ и t_x с t_o		III
	Одноместная обработка с несовмещенными $t_{c,y}$ и t_x с t_o		

Способы фрезерования			
Форма совмещения $t_{c,y}$ и t_x с t_o	Вид процесса	III	
Б	Многопозиционный прерывный процесс с совмещенным $t_{c,y}$ и несовмещенным t_x с t_o	II	III
	Многопозиционный прерывный процесс с совмещенными $t_{c,y}$ и t_x с t_o	I	II



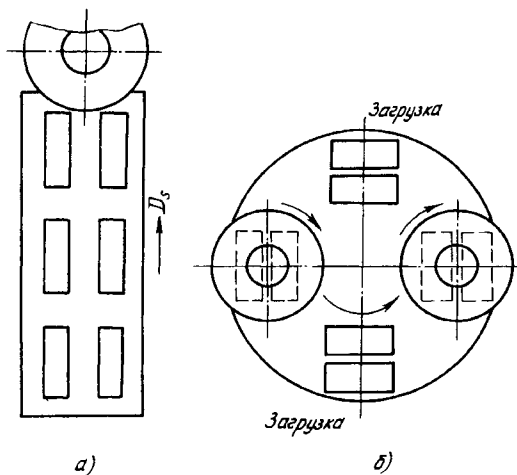


Рис. 8.19. Примеры двухпоточной обработки

Структуры оперативного времени, рассмотренные выше, относятся к однопоточному производству. Для многопоточного производства характерно дублирование переходов и одновременное изготовление за время технологического цикла нескольких деталей. Примерами многопоточной обработки могут быть последовательное фрезерование

в два потока плиток на продольно-фрезерном станке (рис. 8.19, а) и четырехпоточное непрерывное фрезерование заготовок на специальном карусельном фрезерном станке с двумя секциями шпинделей (рис. 8.19, б). В большинстве случаев многопоточные процессы применяют в массовом производстве.

8.7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Эффективность производственного процесса по показателям производительности, уровню загрузки оборудования, длительности цикла изготовления изделий, ритмичности производства, объема незавершенного производства, своевременного выполнения производственных заданий и пр. зависит от строения временных связей в производственном процессе. К формированию временных связей причастны технология изготовления, организация и оперативное планирование производства и управление производственным процессом.

Роль технологии в обеспечении эффективности производственного процесса сводится к такому построению технологических процессов, при котором затраты времени на их выполнение будут минимальными, а процессы — экономичными. Факторами, определяющими затраты времени на выполнение операций, являются структура операции, производительность избранного оборудования, эффективность техно-

логической оснастки и полнота реализации возможных мер по сокращению подготовительно-заключительного времени.

Организация производства начинается с выбора вида и формы производственного процесса, расстановки технологического оборудования, выбора транспортных средств и организации складского хозяйства. Проработка вопросов организации производства охватывает построение потоков готовой продукции, заготовок, инструментов и других средств, обеспечивающих выполнение технологических процессов, организацию контроля качества продукции, планирование технических осмотров и ремонта оборудования, организацию рабочих мест и необходимых заделов, обеспечение нормальных производственных условий и пр.

На оперативное планирование возлагается распределение заказов между рабочими местами, установление последовательности их исполнения во времени и внесения коррективов в намеченный ход производственного процесса вследствие изменения ситуации.

В задачи управления ходом производственного процесса входят его диспетчирование, своевременная доставка к рабочим местам технологической документации и оснастки, заготовок и пр., контроль качества продукции и состояния оборудования и увязка во времени всех действий, обеспечивающих функционирование производственного процесса.

Формирование временных связей начинается с разработки технологии, организации производственного процесса, выбора метода оперативного планирования, построения системы управления. Например, выбор структуры операции предопределяет затраты времени на выполнение операции. Точно так же при планировке оборудования, выборе транспортных средств определяют затраты времени на доставку к различным рабочим местам заготовок, инструментов и пр.

Однако в окончательном виде структура временных связей формируется в ходе производственного процесса и проявляется как результат решений, принимаемых при оперативном планировании и управлении во времени технологическими процессами и сопутствующими им действиями. Так, оперативное планирование, устанавливая объемы и последовательность выполнения заказов, образует связи затрат времени на изготовление изделий с фондами времени, которыми располагают рабочие места. Диспетчирование производственного процесса создает временные связи между операциями технологических процессов, складскими и транспортными операциями. Всякий сбой в производственном процессе влечет за собой изменение структуры временных связей.

Все расчеты, связанные с формированием временных связей, ведут обычно в номиналах, не учитывая вероятностных свойств производственного процесса. Поэтому случайные отклонения в затратах времени на выполнение операции и расходовании фонда времени часто приводят к несоответствию фактических значений показателей эффективности производственного процесса планируемому. Это указывает на то, что наряду с расчетом номинальных значений показателей временных связей необходимы ограничения допусками и случайных отклонений.

Исходными в расчете допусков должны служить допуски, ограничивающие отклонения показателей эффективности производственного процесса от их номинальных значений. Эти допуски нужно выбирать в соответствии с экономическими интересами конкретного предприятия. Расчет допусков требует последовательного раскрытия структуры временных связей и отображения их соответствующими уравнениями. Наличие таких уравнений, представляющих собой функции случайных аргументов, позволяет применить для расчета допусков формулы (2.1) и (2.2).

Ниже раскрыты смысл и ход решения задач, связанных с обеспечением эффективности производственного процесса, на примере обеспечения выполнения сменного задания.

Обеспечение выполнения сменного (производственного) задания в мелкосерийном производстве. Как было указано в п. 8.3, сменное задание в мелкосерийном производстве представляет собой множество N , включающее детали N_n наименований, подлежащих изготовлению в течение смены партиями объемами m_n . Сменное задание может быть так же представлено в виде суммы затрат времени $m_i t_i$ на изготовление партий деталей всех наименований.

Возможность выполнения сменного задания создается в процессе его разработки.

Прежде всего, сменное задание должно быть реально по объему и отвечать требованию

$$(\Phi_n - \Pi_\phi) / \sum_{i=1}^n m_i t_i \geq 1, \quad (8.6)$$

где

$$\Phi_n = \sum_{j=1}^p \Phi_{nj}; \quad \Pi_\phi = \sum_{k=1}^r \Pi_{\phi k}.$$

Рис. 8.20. Алгоритм проверки обеспеченности сменного задания инструментом

Расчет сменного задания должен охватывать не только номинальные значения величин, но и допуски, ограничивающие отклонения в потерях фонда и затратах времени на изготовление деталей.

Расчет сменного задания в номиналах и допусках приобретает смысл лишь при условии, что установленные ограничения будут обращены в мероприятия, обеспечивающие их соблюдение.

Составленное сменное задание должно быть обеспечено:

наличием технической документации;

наличием необходимых заготовок, инструментов, приспособлений и пр.;

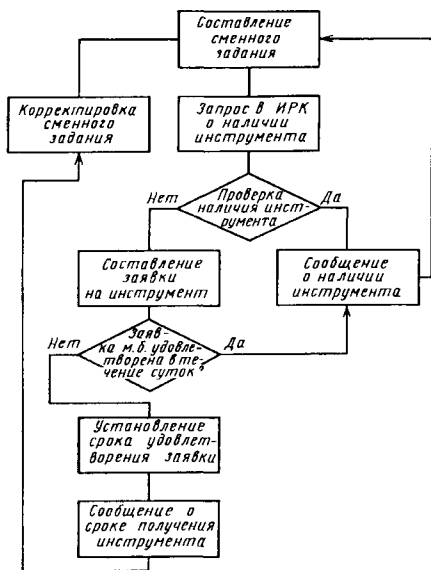
работоспособностью производственного оборудования;

наличием штатного состава рабочих, контролеров и работников других категорий.

Документальное, материальное, техническое и кадровое обеспечение сменного задания достигается через ряд действий, предпринимаемых его разработчиками. Например, обеспеченность сменного задания инструментами выясняется по алгоритму, представленному на рис. 8.20. Подобным образом могут быть предопределены и систематизированы все действия, направленные на обеспечение сменного задания всем необходимым.

Номинальный объем N сменного задания, выраженный в затратах времени на его выполнение, может быть установлен с помощью неравенства (8.6). При этом должны быть учтены номинальные потери P_{ϕ} фонда времени, присущие данному предприятию.

Возможное невыполнение сменного задания при его среднем значении \bar{N} должно быть ограничено полем допуска T_N . Первая из величин представляет собой средний планируемый объем продукции, выраженный в средних затратах времени на ее изготовление. Вторая величина — это допустимое отклонение от среднего объема продукции, намеченной к выпуску, также исчисляемое в затратах времени.



Имея значения \bar{N} и T_N и воспользовавшись формулами (2.2) и (2.3), можно дополнить условие (8.6) выполнения сменного задания следующими зависимостями:

$$(\Phi_n - \bar{\Pi}_\Phi) / \sum_{i=1}^n \bar{m}_i \bar{t}_i \geq 1;$$

$$T_N \geq \sqrt{\left(\frac{\partial N}{\partial \Pi_\Phi} \right)^2 k_{\Pi_\Phi}^2 T_{\Pi_\Phi}^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial N}{\partial [m_i t_i]} \right)^2 k_{m_i t_i}^2 T_{m_i t_i}^2}.$$

Знание значений \bar{N} и T_N дает возможность ограничить допусками отклонения в потерях фонда времени и затратах времени на изготовление деталей. Закономерен вопрос: как определить значения этих величин?

В мелкосерийном производстве продукцию изготавливают в соответствии с нуждами конкретных заказчиков. Если в массовом производстве поле допуска T_N можно задавать со смещением от номинала в сторону перевыполнения производственной программы N , то в мелкосерийном производстве такой возможности нет. Заказы в строго определенных объемах должны быть выполнены в сроки, обусловленные договорами. А это значит, что должно быть $\bar{N} = N$ и $T_N = 0$, что делает расчет допусков невозможным.

Однако если пойти на некоторый риск, учитываемый при вероятностном методе расчета коэффициентом k , то можно установить $T_N > 0$. Это дает возможность установить T_{Π_Φ} и $T_{m_i t_i}$ отличными от нуля.

Наряду с вероятностным методом для расчета допусков может быть применен метод компенсации. Если установить экономически целесообразные значения полей T'_{Π_Φ} и $T'_{m_i t_i}$ допусков, то возможные отклонения функции N будут находиться в пределах T'_N . При этом наибольшая величина компенсации $\delta_k = T'_N - T_N = T'_N$, так как $T_N = 0$.

Возможное недовыполнение сменного задания из-за более широких полей допусков T'_{Π_Φ} и $T'_{m_i t_i}$ может быть скомпенсировано, если

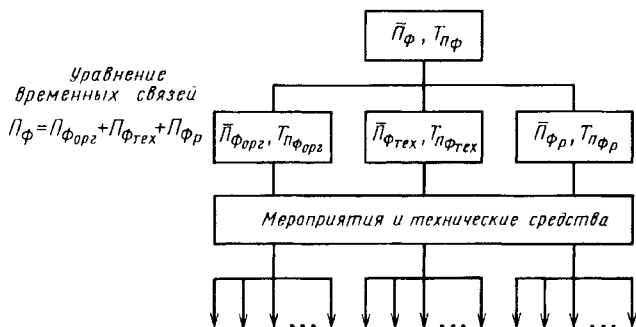


Рис. 8.21. Ограничение допусками отклонений потерь фонда времени

в производственном процессе предусмотреть некоторый резерв фонда времени. Необходимый избыток фонда времени может быть создан путем дополнения номинально необходимого количества технологического оборудования несколькими единицами или долями единиц. Видимо, иногда может оказаться достаточным округление дробных расчетных значений количества оборудования в большую сторону.

Наличие номинальных значений и допусков на величины P_{ϕ} и $\sum_{i=1}^n m_i t_i$ позволяет продолжить расчет временных связей. Уравнения временных связей и схемы расчетов приведены на рис. 8.21 и 8.24.

Наибольшее влияние на продуктивность производственного процесса оказывают потери фонда времени по организационным, техническим причинам и по вине работающих, поэтому прежде всего необходимо упорядочение этих потерь. На рис. 8.21 дана схема ограничения допусками потерь фонда времени, вызываемая причинами трех видов. Как здесь, так и дальше, временные связи в допусках нужно рассчитывать по формулам (2.1) и (2.2).

Случайные сбои в производственном процессе требуют ответных действий, а соответственно и затрат времени на их осуществление. Для того чтобы сбои в производственном процессе не влияли на выполнение сменного задания, необходимы детальное и отчетливое представление причин сбоев; заранее предусмотренные мероприятия и действия по устранению сбоев; регламентация затрат времени на осуществление действий по устранению сбоев; четкая организация действий, отражаемая соответствующими алгоритмами и обеспечивающая устранение сбоя в отведенное время.

Происхождение сбоев по организационным, техническим причинам или по вине работающих может быть детально раскрыто

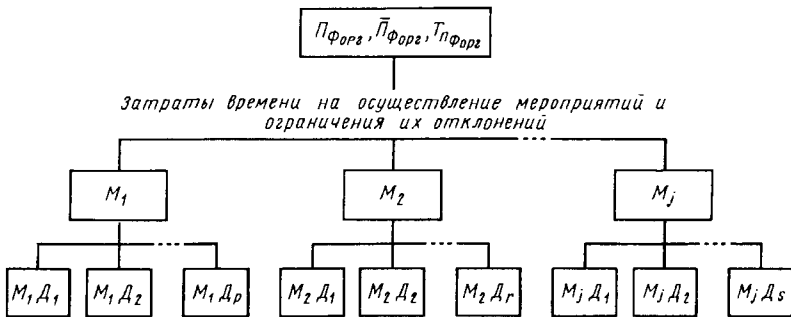


Рис. 8.22. Ограничение допусками отклонений затрат времени на осуществление мероприятий по устранению простоев по организационным причинам

в результате наблюдений за ходом производственных процессов на данном предприятии или предприятиях аналогичного типа. Знание причин сбоя дает возможность разработать меры по его устранению.

Нормы времени на осуществление мероприятий по устранению сбоев могут быть установлены в результате дальнейших расчетов временных связей. Например, исходя из номинального и среднего значений потерь фонда времени по организационным причинам и значения поля допуска, ограничивающего возможные отклонения, должны быть заданы аналогичные величины, определяющие и ограничивающие затраты времени на осуществление мероприятий M_1, M_2, \dots, M_j . Так как каждое мероприятие составляет определенные действия $M_j D_s$, то расчет временных связей может быть доведен до уровня отдельных действий. Принципиальная схема таких расчетов представлена на рис. 8.22.

Алгоритм устранения сбоя, произошедшего по какой-либо причине, должен охватывать полный состав действий и указывать последовательность их выполнения. В качестве примера на рис. 8.23 приведен алгоритм устранения сбоя, произошедшего из-за отсутствия в какой-то момент времени нужного инструмента.

Подобным образом должны быть предусмотрены и организованы действия по устранению сбоев по причинам всех видов. Несомненно, что установленные нормы времени на устранение сбоев в производственном процессе потребуют его специального технического и информационного оснащения.

Расчет временных связей подводит к выдвиганию ряда требований, которые должны быть предъявлены к оборудованию, приспособлениям, инструментам. Например, ограничение времени простоя

Рис. 8.23. Алгоритм действий по устранению простоя из-за отсутствия на рабочем месте нужного инструмента

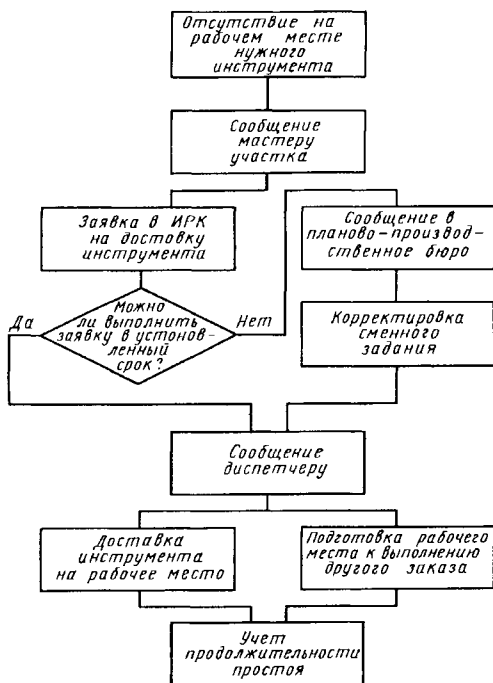
оборудования по техническим причинам ведет к требованию о его надежности в целом и в частности — к надежности его механических, электромеханических и электронных устройств, а также к требованиям по организации технических осмотров и профилактического ремонта оборудования.

По затратам времени все мероприятия организационного и технического характера не должны превышать пределов, установленных в результате расчета временных связей.

Временные связи по линии затрат времени на изготовление деталей приведены на рис. 8.24. Затраты времени на изготовление деталей в объеме сменного задания делятся на затраты времени, относящиеся к партиям деталей. Далее учитываются подготовительно-заключительные времена, объем партий и штучные времена изготовления отдельных деталей в каждой из партий.

Как указывалось выше, наибольшая доля $t_{п.з}$ приходится на настройку технологической системы. Именно эта часть $t_{п.з}$ должна быть прежде всего лимитирована и в соответствии с установленной нормой должны быть разработаны методы и средства для настройки технологических систем.

Необходимость ограничения допусками объемов партий деталей объясняется тем, что выполнение сменного задания оценивается по конечному результату. Доставка на рабочее место неполного комплекта заготовок, выявившийся брак заготовок или брак готовых деталей приводят не только к невыполнению сменного задания по номенклатуре, но и потерям фонда времени. Всякие изменения числа m_i требуют ответных мер, направленных на продуктивное использование фонда времени.



Уравнения временных связей:

$$\sum_{i=1}^n m_i t_i = m_1 t_1 + m_2 t_2 + \dots + m_n t_n$$

$$m_i t_i = t_{nz_i} + m_i t_{шm_i}$$

$$t_{шm_i} = t_{on_i} + t_{об_i} + t_{д_i}$$

$$t_{on_i} = t_{от_i} + t_{в_i}$$

$$t_{от_i} = \frac{L_i K_i}{n_i S_i}$$

$$t_{в_i} = t_{о_i} + t_{х_i}$$

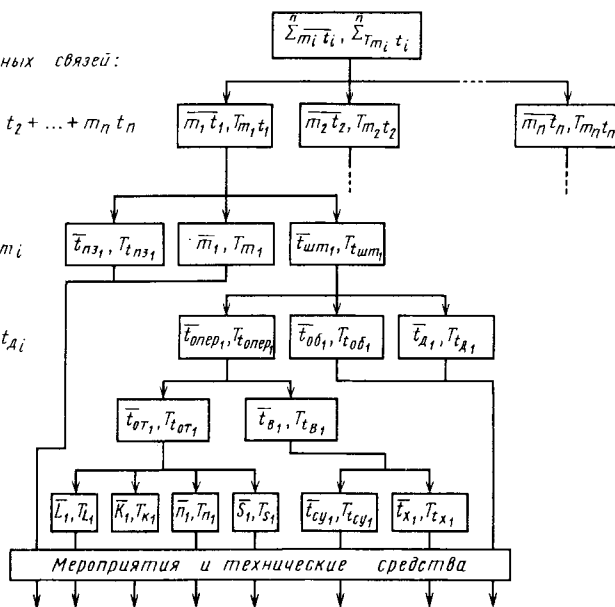


Рис. 8.24. Ограничение допусками отклонений затрат времени на выполнение операции

Штучное время, необходимое на изготовление отдельной детали, состоит из времени оперативного, обслуживания и дополнительного. Членение оперативного времени подводит к длительностям основных и вспомогательных переходов.

Расчет номинальных средних значений и полей допусков по схеме, показанной на рис. 8.24, позволяет предпринять необходимые меры по уменьшению затрат времени на изготовление деталей и стабилизации возможных отклонений их составляющих. Такие меры были рассмотрены выше. К их числу могут быть отнесены способы сокращения подготовительно-заключительного, основного технологического и вспомогательного времени. Расчет временных связей может подвести к выдвигению более жестких требований к качеству заготовок в отношении свойств материала, размеров и припусков, к изменению структур операций. Из ограничения отклонений основного технологического времени вытекают требования к качеству приводов в станках и стабильности напряжения в электрической сети и пр.

В мелкосерийном производстве расчет временных связей в полном объеме физически невозможен при составлении каждого сменного задания. Однако такой расчет на примере типового сменного задания позволяет при проектировании производственного процесса организовать производство на более высоком уровне, упорядочить планирование и работу служб по материальному и техническому обеспечению производственного процесса, выявить в нем "узкие" места и предпринять меры по их устранению.

В мелкосерийном автоматизированном производстве расчет временных связей в полном объеме необходим как на стадии проектирования производственного процесса, так и при осуществлении его. Вычислительная техника, используемая в оперативном планировании и управлении производственным процессом, делает эту задачу разрешимой. Расчет временных связей дает возможность в полной мере загрузить автоматическое производственное оборудование и обеспечить его эффективную работу. Только через раскрытие временных связей и состава необходимых мероприятий можно подойти к структуре информационных связей, строению системы управления, математическому и программному обеспечению и техническим средствам, делающим производственный процесс управляемым и эффективным.

Те же задачи по обеспечению эффективности производственных процессов присущи и другим типам производств. Ход их решения аналогичен. Однако специфика производства может повлиять на подход к получению исходных данных, структуру временных связей и т.п.

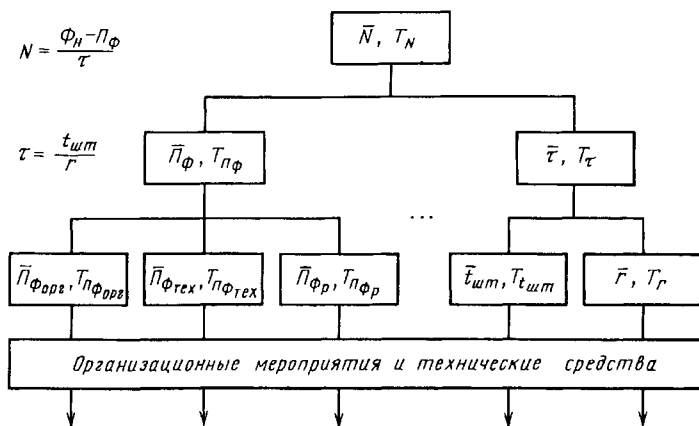


Рис. 8.25. Схема временных связей, обеспечивающих ритмичность производственного процесса в массовом производстве

Например, выполнение производственной программы в массовом производстве зависит от ритмичности производственного процесса, т.е. от соблюдения такта τ выпуска изделий. Поэтому исходным уравнением будет служить зависимость

$$N = (\Phi_n - P_\phi) / \tau.$$

Схема временных связей показана на рис. 8.25 и не требует объяснения за исключением величины τ . Соблюдение такта выпуска на операциях технологического процесса изготовления изделия зависит от $t_{шт}$ и числа r технологического оборудования, одновременно участвующего в выполнении операции. В остальной схема временных связей подобна тем, которые показаны на рис. 8.21 и 8.24. Неизменной остается и цель расчета — выявление мер и средств, обеспечивающих эффективность производственного процесса по показателям, являющимся функциями фонда времени и (или) затрат времени на изготовление изделий.

8.8. УСЛОВИЯ ТРУДА И ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Производительность труда каждого работника в значительной мере зависит от интереса к выполняемой работе и условий труда. Работу, которая увлекает, делают быстрее, и человек при этом устает меньше, поэтому очень важно, чтобы работник, получающий задание, понимал цель и значение предстоящей работы и был заинтересован в ней.

Очень утомителен труд, сводящийся к чисто механическим однообразным действиям, как это часто бывает в поточном производстве. Такой труд притупляет сознание и внимание человека и может привести к травмам. Учитывая это, на заводах массового производства время от времени переставляют рабочих с одних операций на другие, внося тем самым разнообразие в выполняемую работу.

Условия, в которых человеку приходится трудиться, сильно влияют на утомляемость, а следовательно, и на производительность труда. Удобное положение работающего на рабочем месте, простота и удобство управления процессом, чистота, свежий воздух, нормальная температура воздуха и освещенность помещения, отсутствие излишнего шума, четкая организация производства, удобная одежда, доброжелательные отношения в коллективе прямым образом отражаются на производительности труда.

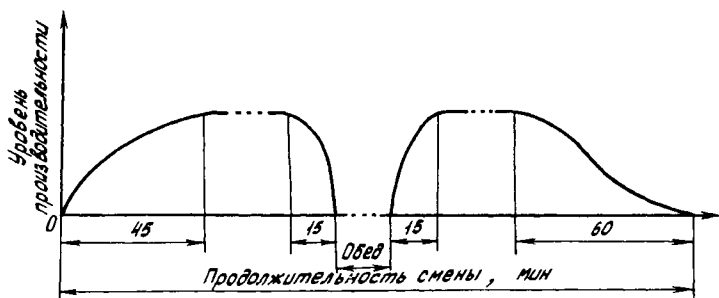


Рис. 8.26. Изменения уровня производительности труда в течение смены

Нередки случаи, особенно в массовом производстве, когда на рабочего падает чрезмерно высокая физическая нагрузка. Например, при обслуживании нескольких полуавтоматических станков, сводящемся к установке заготовок и съему готовых деталей, масса перекидываемого металла в течение смены рабочим может составлять 10 т и более. Непродуманная планировка оборудования при многостаночном обслуживании может привести к тому, что рабочему за смену приходится преодолевать путь в 10—15 км.

Социологические исследования, проведенные на одном из московских станкостроительных заводов, выявили непостоянство уровня производительности труда в течение смены. Оказалось (рис. 8.26), что наибольшего уровня производительность труда достигает через 45 мин после начала смены, снижается за 15 мин до обеда, и опять достигает максимума через 15 мин после обеда и постепенно падает за 1 ч до конца смены.

Теми же исследованиями было установлено, что плохое настроение рабочего приводит к снижению производительности его труда на 9—18 %.

Неоднократно замечалось, что проявление заботы о человеке положительно отражается на производительности труда. Например, на одном из уральских заводов в середине первой полусмены был организован подвоз к каждому рабочему месту легкого завтрака в виде бутерброда, булочки, стакана молока или кофе. Такое простое мероприятие дало ощутимые результаты. Дело в том, что рано просыпаясь и торопясь на работу, человек завтракает кое-как. Чувство голода проявляется уже в начале работы и снижает производительность труда. Легкий завтрак восстанавливает силы и делает человека более работоспособным.

Забота о человеке должна лежать в основе разработки технологических процессов, конструкций оборудования и технологической

оснастки, планировки оборудования, организации производства и рабочих мест и культурно-бытового обслуживания работающих. Это положение должно быть воспринято независимо от вида деятельности, как долг и главнейшая обязанность инженера.

8.9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Человек с давних пор стремится к созданию таких машин и систем машин, которые осуществляли бы производственный процесс при его малом участии, т.е. автоматически. Однако эти стремления сдерживались уровнем научного и технического развития общества.

Первыми, где стала внедряться автоматизация, были производства с большим объемом выпуска однородной продукции: пищевые, полиграфические и другие виды предприятий. В машиностроении автоматизация началась в конце XIX и начале XX вв. и на тех предприятиях, где выпуск одноименной продукции достигал значительных объемов. К числу таковых относились предприятия, производящие оружие, швейные и сельскохозяйственные машины, позднее автомобили, трактора и т.д.

Автоматизация процессов изготовления деталей машин началась с автоматизации управления станками. Этот этап был отмечен появлением станков-полуавтоматов. Следующим шагом следует считать автоматизацию процессов загрузки заготовок и съема готовых деталей, приведшую к созданию станков-автоматов.

Неуклонная потребность в повышении производительности технологического оборудования привела к усложнению структур операций: совмещению во времени основных переходов и совмещению с ними вспомогательных переходов. Для осуществления таких операций потребовались специальные станки, получившие название агрегатных. Примером агрегатного станка может служить шестипозиционный вертикальный полуавтомат для изготовления толкателя клапана двигателя (рис. 8.27). На станке производится сверление отверстия диаметром 15,5 мм, его рассверливание до диаметра 21 мм, зенкерование ($\varnothing 23,6$ мм), черновое ($\varnothing 23,85$ мм) и чистовое ($\varnothing 24H7$) развертывание.

Создаваемые для выполнения технологических процессов изготовления конкретных деталей агрегатные станки имеют весьма разнообразные компоновки. Компоновка станка полностью зависит от содержания технологической задачи, решаемой на операции: типа, конструктивных форм и размеров изготавливаемых деталей, избранных способов и направлений обработки поверхностей заготовки, характера совмещения переходов и др.

Рис. 8.27. Шестипозиционный вертикальный полуавтомат для изготовления толкателей клапанов двигателей

На рис. 8.28 приведены примеры компоновок агрегатных станков. Компоновки могут быть с горизонтальным, вертикальным и комбинированным расположением силовых головок. В процессе обработки заготовки могут оставаться неподвижными (рис. 8.28, а, б) и перемещаться с позиции на позицию с помощью поворотного стола с вертикальной осью вращения (рис. 8.28, в, г, д) или барабана с горизонтальной осью вращения (рис. 8.28, е).

Используемые преимущественно в массовом производстве агрегатные станки применяют и при изготовлении деталей меньших серий. Но в этом случае станки оснащают сменными шпиндельными коробками, каждая из которых предназначена для обработки заготовок деталей одного наименования. Пример такого агрегатного станка приведен на рис. 8.29.

Организация поточных линий потребовала не только автоматизации отдельных операций, но и автоматического перемещения обрабатываемых заготовок от станка к станку с установленным тактом. Так появились автоматические линии.

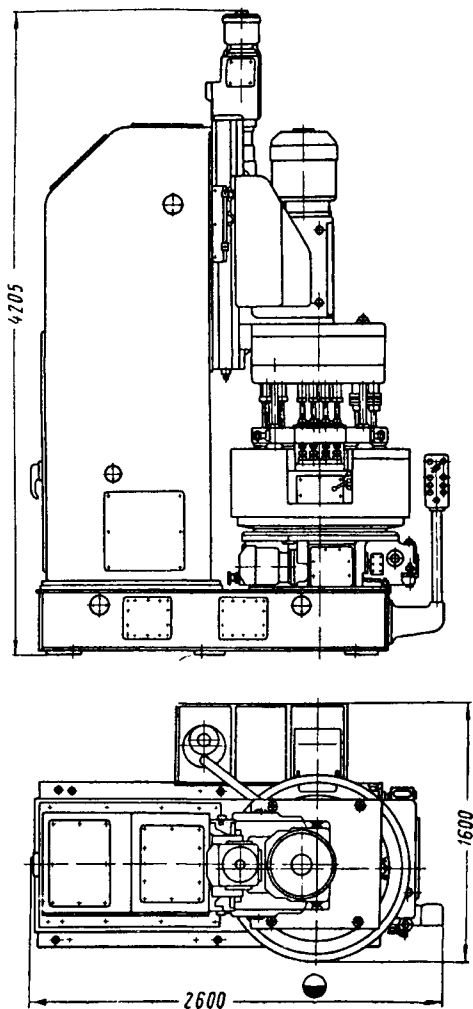
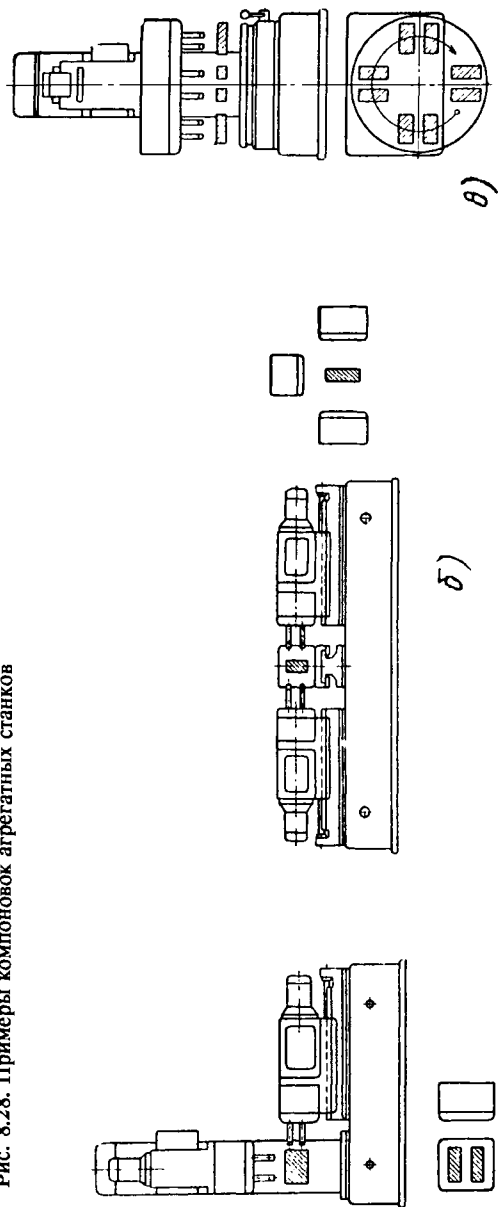
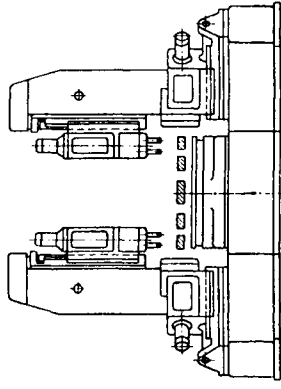
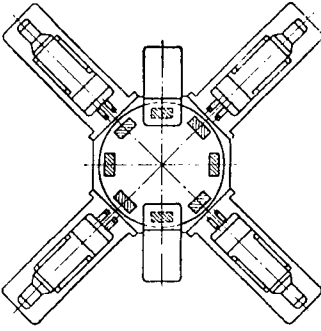
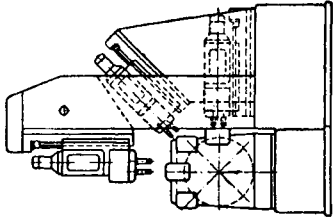


Рис. 8.28. Примеры компоновок агрегатных станков

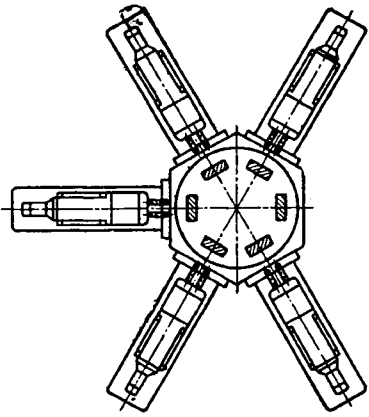
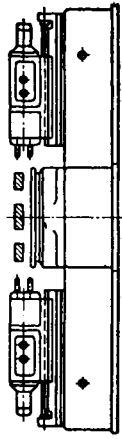




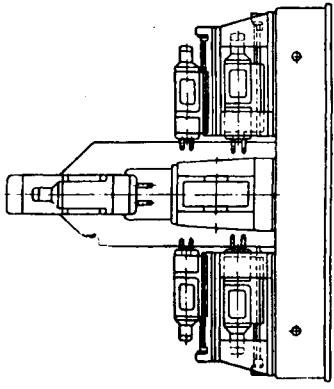
a)



b)



c)



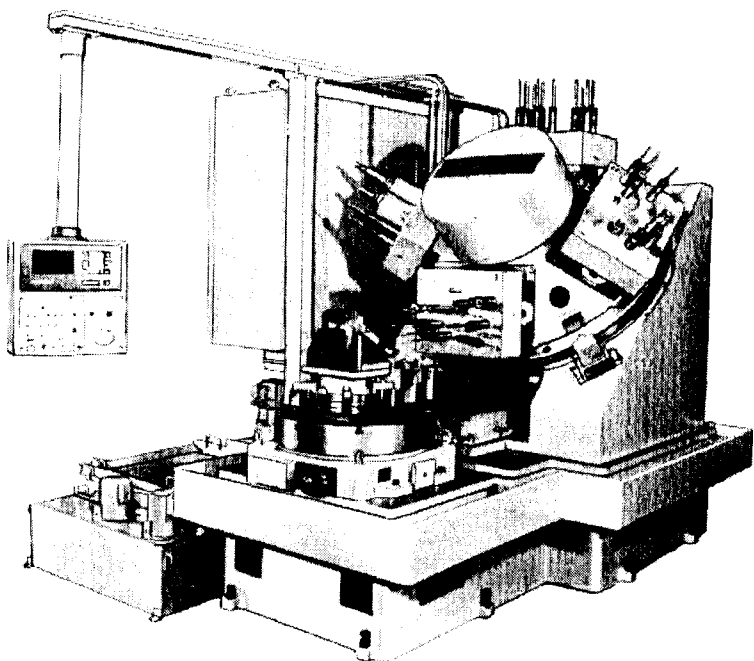
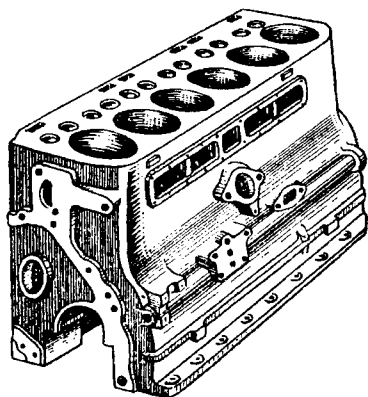


Рис. 8.29. Агрегатный станок со сменными шпиндельными коробками



Первые автоматические линии были созданы на базе действующего и в основном универсального оборудования. Позднее автоматические линии стали создавать в основном на базе агрегатных станков. Примером автоматической линии из агрегатных станков может служить один из участков линии для обработки заготовки блока автомобильного двигателя (рис. 8.30), показанный на рис. 8.31.

Рис. 8.30. Корпус блока автомобильного двигателя

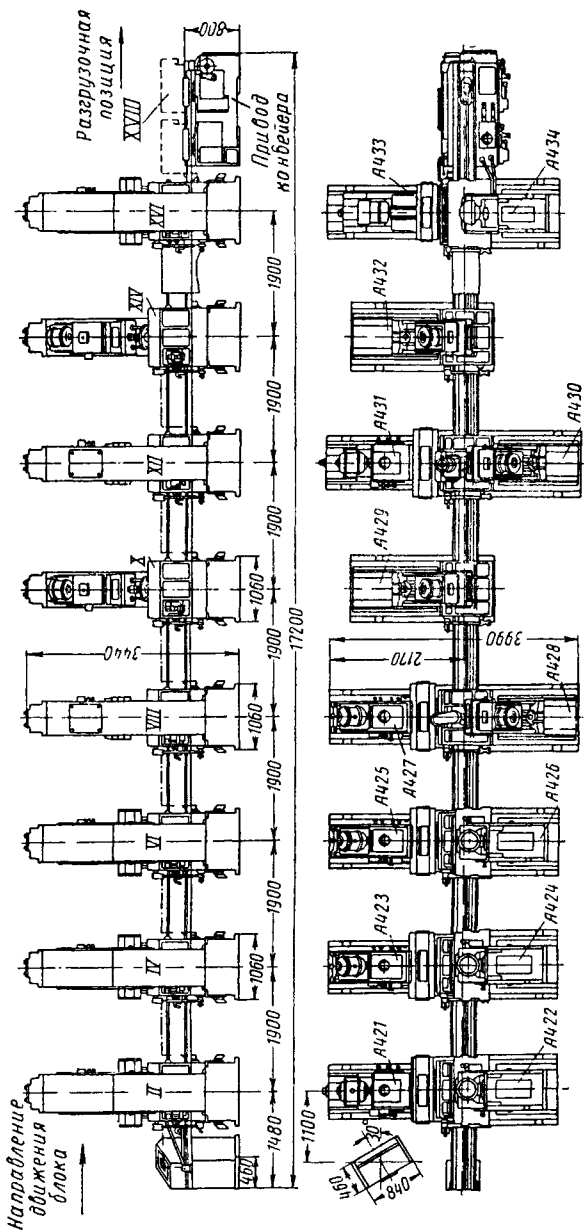


Рис. 8.31. Участок автоматической линии для изготовления блока автомобильного двигателя

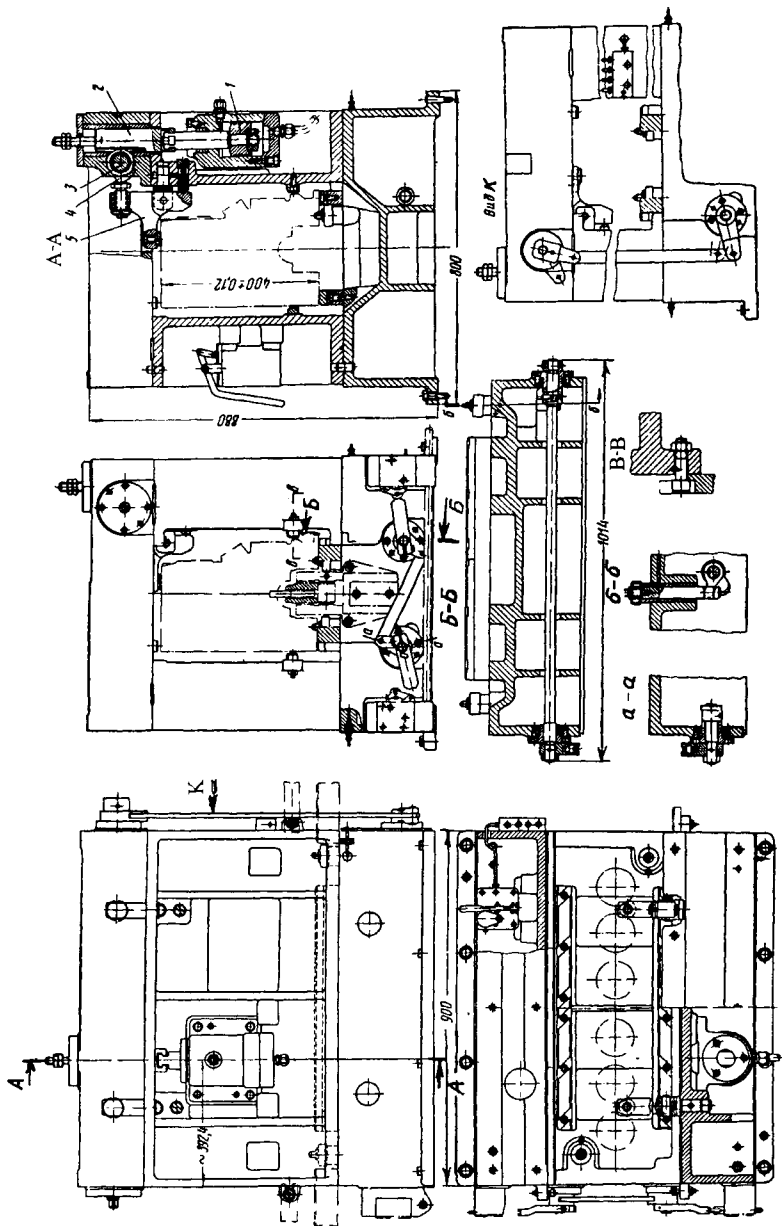


Рис. 8.32. Приспособление, используемое для базирования и закрепления заготовки блока двигателя на позициях автоматической линии

Блок обрабатывается в перевернутом состоянии и на каждой из позиций гидравлическими устройствами поднимается и прижимается установочной базой к опорам приспособления (рис. 8.32). После этого в два базовых отверстия блока вводятся установочные пальцы, и блок окончательно закрепляется. На большинстве позиций блок одновременно обрабатывается с двух сторон. Примеры наладок станков (позиции II и IV) даны на рис. 8.33.

В каждой из позиций линия работает по следующему циклу: 1) подача блока шаговым конвейером в исходное положение; 2) установка и закрепление блока в приспособлении; 3) быстрый подвод силовых головок; 4) обработка блока, с которой совмещен во времени обратный ход шагового конвейера; 5) быстрый отвод силовых головок; 6) освобождение блока в приспособлении.

Автоматические линии имеют следующие основные преимущества:

1. Увеличение производительности труда и высвобождение в связи с этим значительного числа рабочих. Например, введение автоматической линии для изготовления блоков привело к уменьшению в 8 раз числа рабочих по сравнению с тем числом рабочих, которые были заняты изготовлением блоков на обычных станках.

2. Более низкая себестоимость изделий.

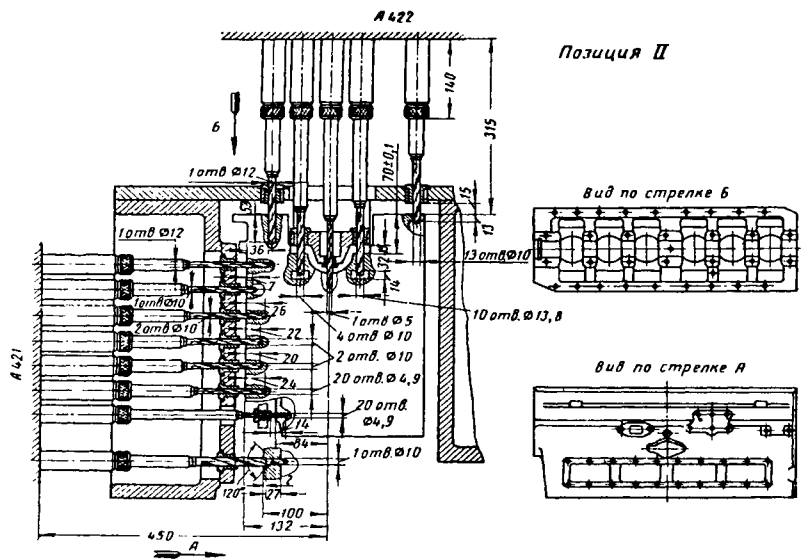
3. Увеличение выпуска продукции с 1 м² площади и, следовательно, уменьшение потребности в производственных площадях. Так, площадь, занимаемая автоматической линией для изготовления блоков, составила 50 % площади, занимаемой обычными станками.

4. Сокращение цикла производства. Цикл изготовления блоков на автоматической линии сократился в 8 раз.

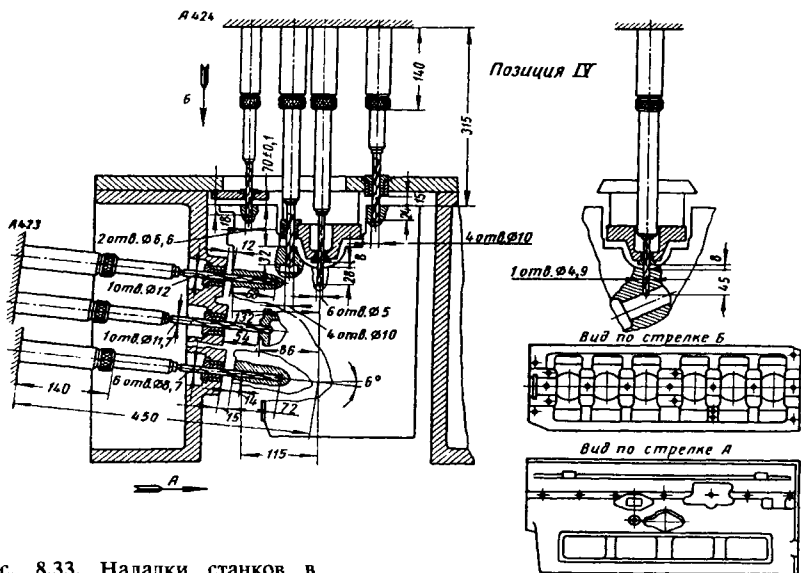
К недостаткам автоматических линий следует отнести трудности перевода линий на изготовление изделий по новому чертежу, так как это связано с существенной модернизацией оборудования. Поэтому автоматические линии экономичны там, где изделия в больших количествах длительное время изготавливаются по неизменным чертежам.

К недостаткам автоматических линий можно отнести более низкий коэффициент использования оборудования. Остановка в линии одного станка может привести к простоям других станков. Неодинакова и длительность циклов обработки заготовок в различных позициях линии. Из-за этого какие-то станки, закончившие обработку заготовок раньше других, вынуждены какое-то время простаивать.

Однако выгоды от применения автоматических линий столь существенны, что их широко используют в автомобильной и тракторной промышленности, в сельскохозяйственном машиностроении, оборонной промышленности и ряде других отраслей.



а)



б)

Рис. 8.33. Наладки станков в позициях II (а) и IV (б) автоматической линии

Массовое производство изделий, обусловленное их спросом в течение длительного времени, привело к созданию автоматических цехов и заводов. Примером автоматического производства может служить завод для изготовления поршней автомобильных двигателей, созданный в ЭНИМСе в 1950 г.

На рис. 8.34 приведена схема установки оборудования на заводе по производству поршней. Алюминиевые чушки с железнодорожной платформы разгружаются на конвейер, перемещающий их в плавильную печь. Расплавленный металл поступает в автоматическую литейную машину для отливки в металлических кокилях заготовок поршней. Далее заготовки следуют на станок для отрезки литников, возвращаемых специальным конвейером в плавильную печь. После этого заготовки проходят отпуск в специальной печи и измеряют их твердость. Заготовки, годные по твердости, поступают в бункер, негодные, вместе с литниками — в плавильную печь. После нескольких операций механической обработки поршни попадают на станок, где осуществляется их подгонка по массе. Далее следует чистовое шлифование, лужение, окончательная механическая обработка поршней, контроль и сортировка поршней по массе. Заключительным этапом производственного процесса является автоматическая упаковка поршней в бумагу, коробки и ящики. Все управление заводом централизовано на пульте управления.

Автоматический завод объединяет различные процессы по превращению чушек алюминия в готовые и упакованные поршни. Наряду с металлургическими, литейными, термическими процессами, механической обработкой и контролем для изготовления поршней применяются химические процессы, смазывание, сортировку и упаковку. На протяжении двух десятилетий завод успешно работал в Ульяновске и производил по 1,2 млн. поршней двух видов в год.

Автоматический завод по изготовлению поршней можно рассматривать как крупное достижение на рубеже 50-х годов в комплексной автоматизации производственных процессов в машиностроении. В последующие годы комплексная автоматизация в массовом производстве получила широкое распространение как в нашей стране, так и за рубежом. Были созданы автоматические цеха по производству шарико- и роликоподшипников на ИПЗ и других заводах, автоматические цеха по изготовлению поршневых колец, лемехов для плугов, направляющих втулок клапанов автомобильных двигателей и других изделий. Комплексную автоматизацию стали внедрять в металлургическую, радиотехническую промышленность, в заготовительное производство и т.д.

Производство одинаковых изделий в очень больших количествах привело к созданию роторных машин и роторных автоматических

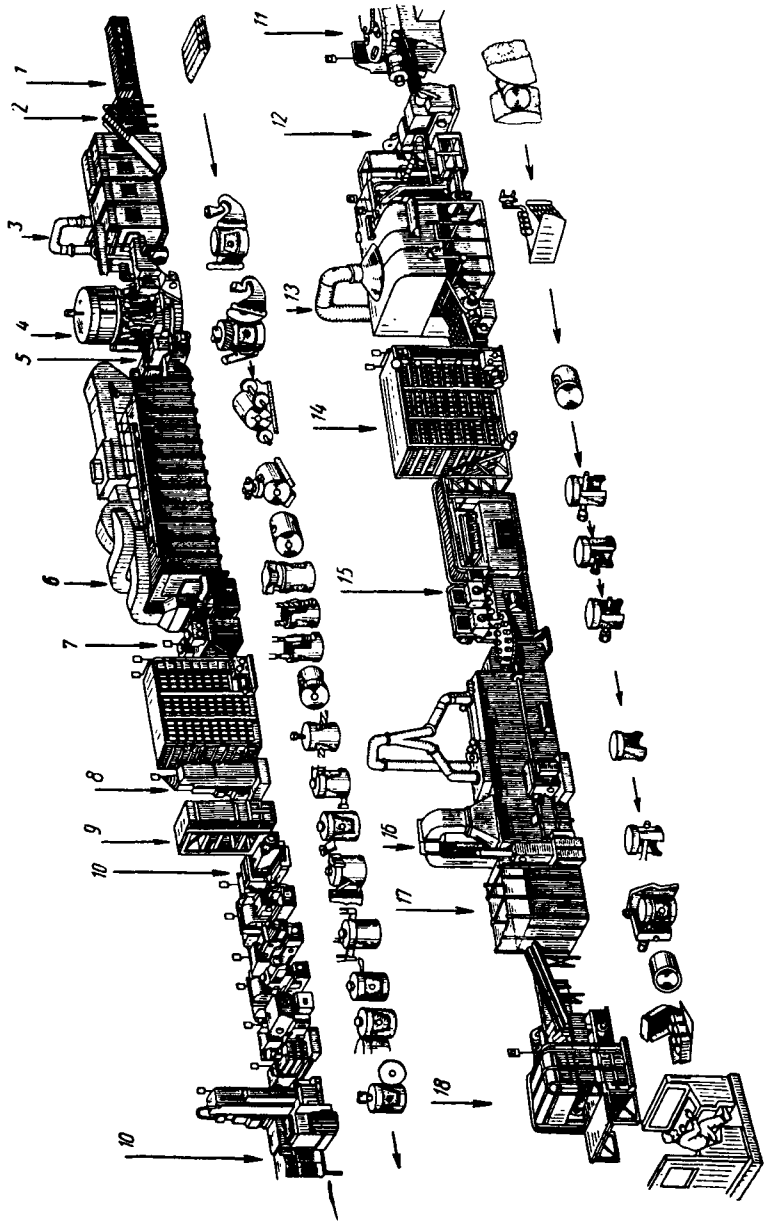


Рис. 8.34. Автоматический завод по производству поршней автомобильных двигателей:

1 — конвейер для чушек; 2 — конвейер для возврата литников; 3 — плавильная печь; 4 — литейная машина; 5 — отрезка литников; 6 — печь для отпуска; 7 — приборы для проверки твердости; 8 — станок для обработки баз; 9 — бункер; 10 — автоматическая линия станков; 11 — автомат для подгонки поршней по массе; 12 — чистовое шлифование; 13 — автомат для лужения; 14 — бункер; 15 — станки для отделочной обработки отверстий под палец; 16 — моечная машина; 17 — машина для контроля и сортировки; 18 — упаковочная машина

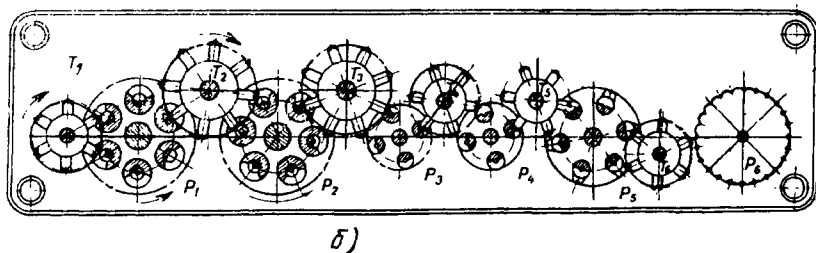
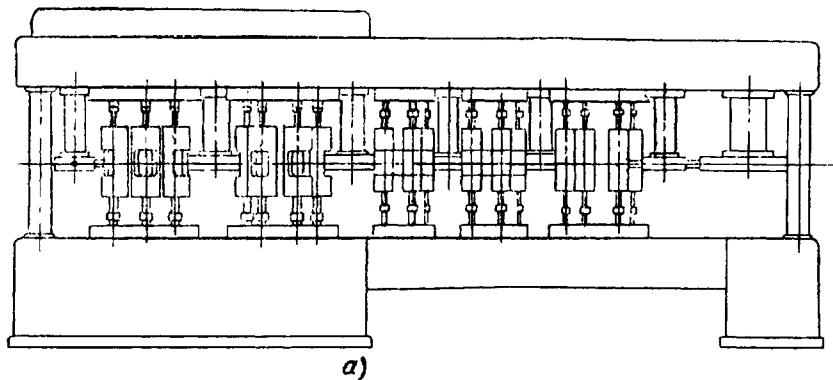


Рис. 8.35. Роторная автоматическая линия

линий. Такие линии применяют на предприятиях оборонной, пищевой, парфюмерной, фармацевтической и в других отраслях промышленности. На базе роторных линий возможна комплексная автоматизация производственных процессов, охватывающая обработку заготовок штамповкой и резанием, сборку, расфасовку, комплектацию, упаковку, маркировку и другие технологические процессы.

На рис. 8.35 показана принципиальная схема автоматической роторной линии. Линия имеет непрерывнодействующие технологические P_1, P_2, \dots и транспортные T_1, T_2, \dots роторы. Технологический ротор представляет собой многопозиционную машину. В каждой из позиций за оборот ротора выполняется технологическая операция. По ее завершении изделие захватывает транспортный многопозиционный ротор и передает его на следующий технологический ротор. Работа технологических и транспортных роторов синхронна.

Благодаря непрерывности и большой скорости перемещения изделия на протяжении всего процесса изготовления производительность роторных машин и линий оказывается очень высокой. Данные о производительности некоторых автоматических роторных линий приведены в табл. 8.3.

Наиболее трудной оказалась автоматизация сборочных работ. Объясняется это тем, что при автоматическом соединении деталей необходимо техническими средствами воспроизвести сложнейший процесс ориентации деталей в пространстве, выполняемый руками человека. Процесс требует непрерывного изменения схем базирования и компенсации отклонений в относительном положении соединяемых деталей. Гибкость рук и органы чувств человека позволяют достаточно просто справиться с этой задачей. Но возложить ее на автомат оказалось делом сложным.

Для того чтобы добиться соединения деталей автоматическим путем, необходимо предусмотреть следующее:

1. Проникнуть в сущность явлений, сопутствующих соединению деталей, и выявить условия их собираемости.
2. Разработать схемы базирования соединяемых деталей на всех этапах процесса их соединения. Выявить моменты смены баз.
3. Вскрыть пространственные кинематические и размерные связи, обеспечивающие автоматическое соединение деталей, и выбрать способы компенсации отклонений на их звеньях.

8.3. Производительность автоматических роторных линий

Наименование	Производительность, шт./мин
Линия по производству болтов	100
Линия по производству шестигранных гаек	150
Линия для розлива пищевых жидкостей в бутылки вместимостью до 0,34 л	600
Линия для мойки, дозирования, розлива, укупорки, этикировки бутылок	100—300

4. Разработать схему требуемого действия сил на всех этапах сборки с учетом проявления сил сопротивления.

5. Заложить в конструкцию автомата способность реализации требуемых схем базирования деталей и смены баз, компенсации отклонений в относительном положении соединяемых деталей и действий сил.

Недооценкой важности этих положений объясняются неудачи при первых попытках автоматизации сборочных работ, предпринимавшихся в 50-е годы. Напротив, там, где автоматические машины создавали на базе глубокого анализа явлений и связей, возникающих в процессе соединения деталей, автоматическая сборка шла успешно. Примерами удачных конструктивных решений, относящихся к тому периоду, могут быть автоматы для сборки шарико- и роликоподшипников в автоматических цехах подшипниковых заводов, автоматическая роторная линия для сборки втулочно-роликовых цепей и др.

В настоящее время автоматическая сборка изделий ведется не только в массовом, но и серийном производстве с применением автоматических машин специального назначения и промышленных роботов с программным управлением. Однако уровень автоматизации сборочных работ далеко недостаточен, поэтому автоматизация сборочных работ в машиностроении представляет собой одну из актуальных проблем, поскольку их трудоемкость составляет 30—50 % трудоемкости изготовления машины.

Все, что изложено выше по автоматизации производственных процессов, относится к массовому и крупносерийному производству. Однако на предприятиях таких типов производится всего 15—20 % общего объема машиностроительной продукции. Поэтому автоматизация среднесерийного, мелкосерийного и единичного производства представляет собой важную проблему в народном хозяйстве.

Важность решения этой проблемы объясняется не только экономическими соображениями, но и изменением отношения общества к физическому труду. С ростом уровня образования становится все меньше желающих работать на станках или заниматься сборкой машин. Более привлекательным становится интеллектуальный труд. Отток рабочих кадров из машиностроения может быть возмещен только комплексной автоматизацией производственных процессов.

Возможности автоматизации среднесерийного, мелкосерийного и единичного производства открылись с появлением станков с программным управлением (ПУ) и вычислительной техники. Применение станков с ПУ облегчает труд станочника, освобождая его от утомительной и однообразной работы по управлению станком при выполнении операций технологического процесса изготовления деталей.

Вычислительная техника, придаваемая станкам с ПУ и используемая для управления производственным процессом, возмещает умственную деятельность человека как на рабочем месте, так и при осуществлении производственного процесса в целом.

Программное управление станками может быть оперативным и числовым.

Оперативные системы управления (ОСУ) позволяют программировать процесс обработки заготовок непосредственно на станке с помощью клавиатуры на пульте станка. Ручное программирование обработки простой заготовки требует затрат времени 30—40 мин, сложной заготовки — 2 ч и более. Преимуществами ОСУ являются сравнительно малые затраты времени на программирование и возможность редактирования управляющей программы на рабочем месте. Построение ОСУ на базе микро-ЭВМ делает возможным хранение в памяти нескольких программ и различных стандартных циклов обработки (сверление, нарезание резьб и пр.). Применение станков с ОСУ может быть экономичным при обработке единичных заготовок и всегда эффективно при изготовлении деталей партиями.

Числовое программное управление (ЧПУ) ведется по программе, разработанной вне рабочего места и записанной на программноносителе в виде перфорированной или магнитной ленты. Станки с ЧПУ широко распространены в среднесерийном, мелкосерийном и единичном производстве и превратились в важнейший вид высокоэффективного технологического оборудования.

1970—1980 гг. ознаменовались поиском путей повышения производительности станков с ЧПУ, стремлением сгруппировать их в автоматизированные комплексы и приблизиться к производительности автоматических линий массового производства, исключив их основной недостаток — изготовление неизменяемого вида продукции.

Основное направление этого поиска — автоматизация функций рабочего-оператора, обслуживающего станок с ЧПУ. В состав этих функций входит загрузка заготовок на станок и съем изготовленных деталей, подбор и установка инструмента в шпиндель станка, смена приспособлений для базирования и закрепления заготовок, включения станка, контроль точности деталей и др. Результатами поиска было следующее.

1. Создание многооперационных станков (рис. 8.36). Эти станки оснащены автоматическими устройствами смены инструментов и инструментальными магазинами, содержащими комплекты инструментов, необходимых для выполнения операций. Станки могут иметь сменные столы, наборы "спутников", на которых могут быть предварительно установлены заготовки деталей разных наименований. Единая схема базирования спутников на станке и их автоматическая

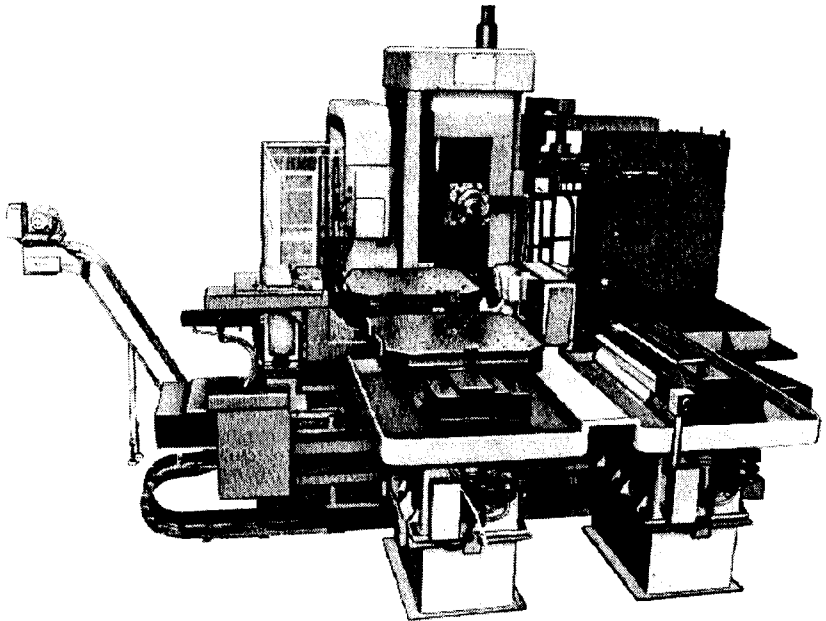


Рис. 8.36. Многооперационный станок

подача сокращают затраты времени на загрузку станка. Благодаря поворотным столам, обеспечивается доступ инструментов к заготовке с нескольких сторон. Это позволяет во многих случаях вести обработку заготовки с одной установки.

2. Переход к управлению станками устройствами ЧПУ, создаваемыми на базе микропроцессорной техники. Оснащение станков ЭВМ расширило их технические и технологические возможности, создало возможность возложения на ЭВМ адаптивного управления, оценки точности деталей, управления устройствами смены спутников и решения на рабочем месте с ее помощью других задач. Большое значение имеет переход к ЧПУ на базе ЭВМ для реализации гибкой технологии благодаря возможности выхода на связь с ЭВМ более высокого уровня.

3. Создание гибких производственных систем (ГПС), представляющих собой совокупность или отдельные единицы технологического оборудования, автономно функционирующего в течение заданного интервала времени без участия человека и обладающего свойствами

автоматической переналадки на изготовление деталей другого наименования.

Элементарным представителем ГПС является гибкий производственный модуль (ГПМ), состоящий из одной (двух) единиц технологического оборудования. ГПМ оснащен автоматизированным устройством программного управления и может включать в себя накопители спутников и инструментов, устройства загрузки и выгрузки, замены технологической оснастки, переналадки и другие устройства, обеспечивающие качество изделий и автономное функционирование модуля в автоматическом режиме. Вместимость накопителей спутников и инструментов должна быть достаточной для бесперебойной работы модуля в режиме безлюдной технологии в течение 18—20 ч в сутки. Станки снабжают устройствами диагностики состояния станка и режущего инструмента, устройствами адаптивного управления и оценки точности изделий. На рис. 8.37 показан ГПМ, предназначенный для изготовления корпусных деталей широкой

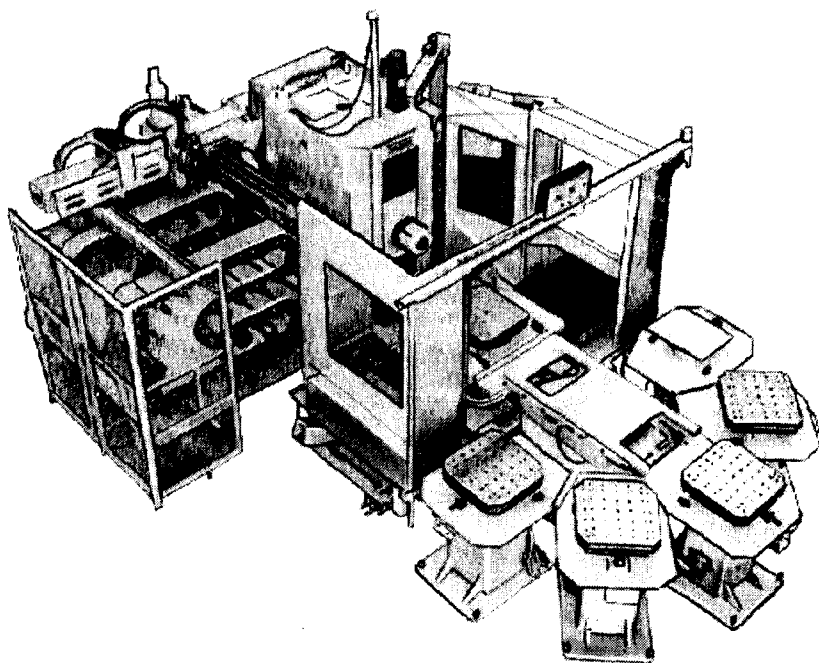


Рис. 8.37. Гибкий производственный модуль

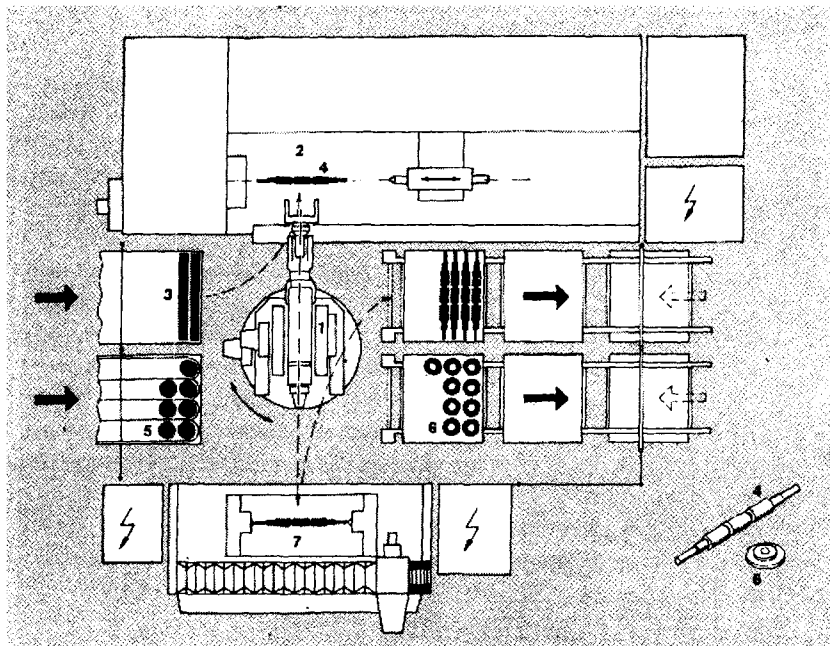
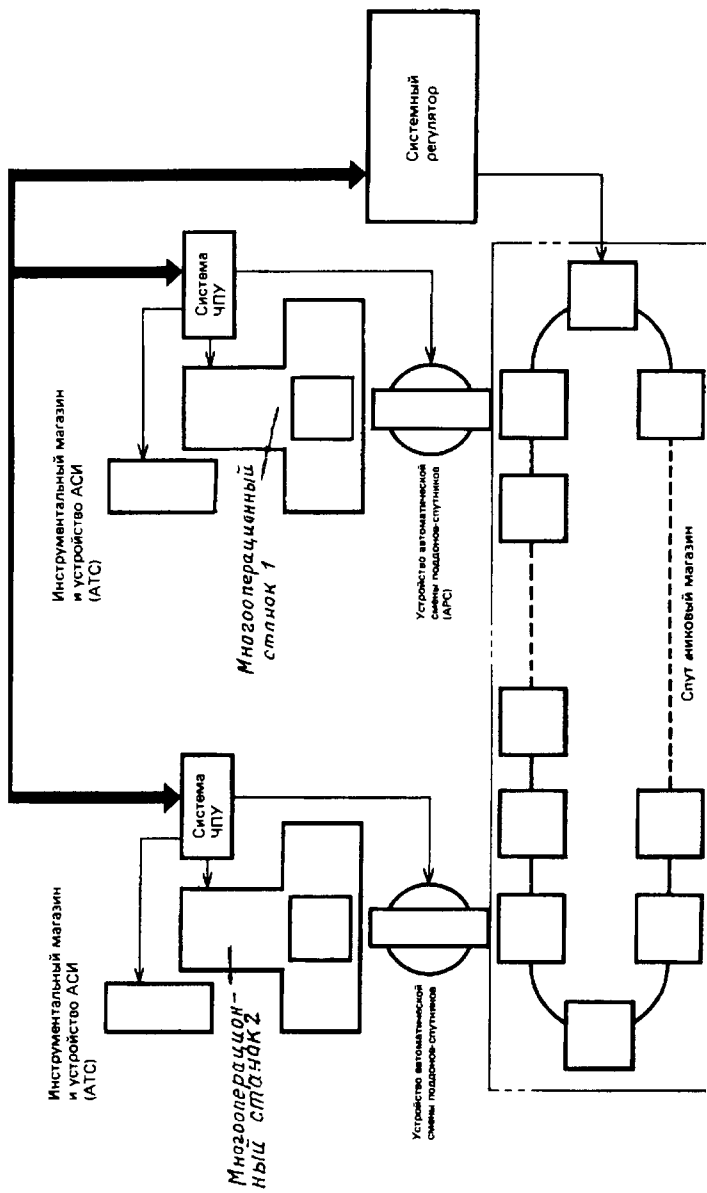


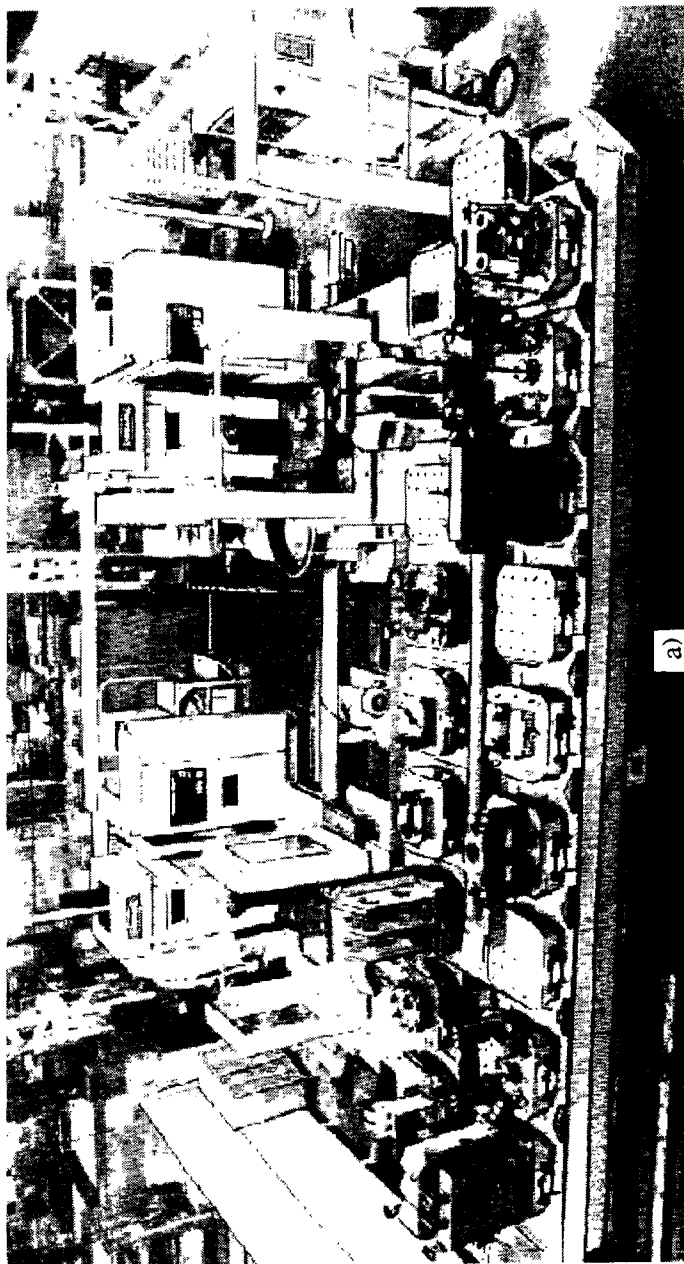
Рис. 8.38. Роботизированный технологический комплекс

номенклатуры, имеющих габаритные размеры в пределах $500 \times 500 \times 500$ мм.

ГПМ можно создавать на базе унифицированного технологического оборудования, транспортных, загрузочных устройств, в том числе промышленных роботов и манипуляторов. Примером такого модуля может служить роботизированный технологический комплекс из токарного станка с ЧПУ, обслуживаемого промышленным роботом с ПУ (рис. 8.38).

ГПМ предназначен для изготовления деталей типа тел вращения, например вала 4 и фланца 6. Разнородностью конструкций деталей отражена широта технологических возможностей модуля, способного автоматически перенастраиваться на изготовление деталей другого наименования. Робот 1 с поддона 3 или 5 берет заготовку, устанавливает на станке 2, поворачивает ее для обработки с другой стороны и доставляет на измерительное устройство 7. Годные детали переносятся на один из поддонов, по мере заполнения поддон удаляется с модуля.





На рис. 8.39, а показан гибкий автоматизированный участок для изготовления корпусных деталей, а на рис. 8.39, б — его структурная схема. Участок имеет два многооперационных станка с инструментальными магазинами на 60 инструментов и устройствами для автоматической смены инструментов. Спутниковый магазин содержит 20 спутников, на которых могут быть предварительно установлены заготовки деталей разных наименований. Порядок обработки заготовок произвольный и предопределяется графиком, вводимым в системный регулятор. Участок предназначен для изготовления деталей 40—50 наименований. Объемы партий могут составлять от 1 до 50 деталей. Гибкий автоматизированный участок обслуживает один оператор, он может автономно работать 20 ч в сутки.

Более сложными структурами гибкого автоматизированного производства являются гибкие автоматизированные цеха и заводы, имеющие в своем составе несколько гибких автоматизированных участков и цехов, объединенных автоматизированной системой управления, транспортно-складской системой и системой инструментаобеспечения. Примером автоматизированного цеха может служить "Система 21" (система XXI в.) фирмы "Yamazaki" (Япония), изготавливающая детали токарных станков (рис. 8.40).

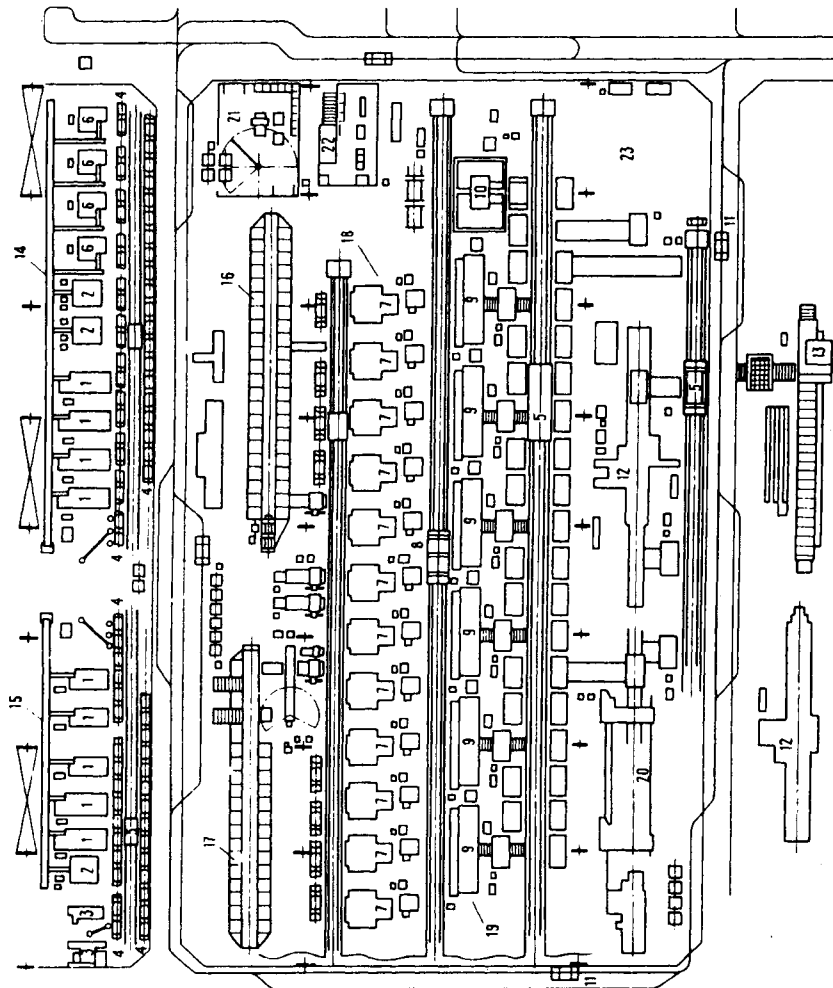
"Система 21" является частью завода, в состав которого входят еще четыре гибких автоматизированных цеха: цех для производства штампо-сварных деталей, цех для производства шарико-винтовых пар и два сборочных цеха, в которых, наряду со сборкой, ведутся отладка и контроль станков. Завод работает 15 ч в сутки. Его обслуживают 240 человек, из них 39 человек обслуживают "Систему 21", 20 — управленческий аппарат, 30 — программисты, 80 — на сборке, остальные в других цехах. В общем число работающих входят и мойщики полов на заводе. Полы ежедневно моют с мылом вручную.

В настоящее время гибкие производственные системы получают широкое распространение в среднесерийном, мелкосерийном и единичном производствах. Преимущества применения ГПС можно, например, характеризовать сопоставлением "Системы 21" с традиционным производством, выпускающим ту же продукцию (табл. 8.4).

Создание любых автоматизированных производственных систем начинается с постановки и уяснения задачи, для решения которой создается система, с разработки технологии и производственного процесса изготовления изделий. Только глубокая проработка этих вопросов может избавить от упущений и ошибок в выборе производственного оборудования и предъявлении к нему необходимых требований, в организации производственного процесса и построении системы управления.

Рис. 8.40. Схема "Системы 21" фирмы "Yamazaki";

1, 2 — станки типа ОЦ; 3 — шлифовальные станки с ЧПУ; 4 — накопитель палет; 5 — рельсовая тележка-робот, транспортирующая заготовки и детали; 6 и 7 — горизонтальные ОЦ; 8 — рельсовая тележка-робот, транспортирующая инструментарные магазины; 9 и 13 — станки типа ОЦ; 10 — портальный робот для очистки заготовок; 11 — индукционная тележка-робот для внутри- и межцеховой связи; 12 — продольно-шлифовальный станок; 14 — ГПС изготовления фланцев; 15 — ГПС изготовления шпindelей; 16 — склад палет; 17 — склад заготовок; 18 — ГПС изготовления корпусных деталей; 19 — ГПС изготовления станин; 20 — участок закалки; 21 — ОТК; 22 — отделение настройки инструмента; 23 — участок установки заготовок на палеты



8.4. Эффективность "Системы 21"

Показатель	"Система 21"	Традиционное производство
Число станков	43	90
Число работающих	39	195
Цикл, дни:		
изготовление деталей	3	35
узловой сборки	7	14
общей сборки	20	42
Цикл изготовления станка, дни	30	91
Производственная площадь, м ²	6 600	16 500

В машиностроении известны случаи, когда созданные ГПС оказывались неспособными осуществлять производственный процесс. Объясняется это тем, что их создание сводилось к чисто механическому соединению станочного, транспортного оборудования и вычислительной техники без глубокого анализа связей в производственном процессе, обеспечивающих его функционирование и выпуск качественной продукции. На доводку и "оживление" таких ГПС были затрачены годы.

Создание ГПС, так же как и других автоматизированных или автоматических систем, должно начинаться с глубоких технологических разработок. Их цель состоит в построении системы связей свойств материала, размерных, информационных, временных и экономических, составляющих существо производственного процесса и раскрывающих функции и состав технического, информационного и математического обеспечения производственного процесса.

Технологические разработки при создании автоматизированных и автоматических систем для изготовления деталей рекомендуется вести в следующей последовательности.

1. Разработка исходных данных, включающая подбор номенклатуры деталей, подлежащих изготовлению, изучение конструктивных особенностей и требований к их качеству, установление объема выпуска деталей, размеров партий, частоты смены изделий в производстве, отработку технологичности конструкции деталей. Выбор типа автоматизированной или автоматической системы, сопровождаемый экономической оценкой ее целесообразности.

2. Разработка технологии изготовления деталей или деталей — представителей в многономенклатурном производстве:

анализ функций поверхностей деталей в соответствии с их служебным назначением и размерных связей между поверхностями, выявление наиболее жестких требований к точности деталей;

выбор технологического процесса получения заготовок;

выбор технологических баз;

выбор способов и числа переходов обработки поверхностей заготовки;

составление маршрута изготовления деталей;

выбор режимов обработки;

нормирование переходов;

компоновка операций из переходов и выбор структур операций;

выявление состава и требований к конструкции технологической оснастки;

формулирование служебного назначения станочного и других видов технологического оборудования и установление их технических характеристик.

3. Разработка мероприятий по обеспечению требуемых свойств материала деталей:

предъявление требований к свойствам материала заготовок;

выявление необходимости и места в технологических процессах изготовления деталей термической, химической и других видов обработки заготовок;

анализ процессов механической обработки заготовок с точки зрения обеспечения требуемых свойств материала деталей и внесение в технологию необходимых коррективов.

4. Разработка системы автоматического обеспечения требуемой точности деталей:

выявление структуры размерных связей в технологических процессах изготовления деталей; расчет номиналов, допусков на межпереходные размеры и припусков на обработку; оформление чертежей заготовок;

разработка требований к точности установки заготовок, настройки станков и обработки на операциях технологического процесса;

выдвижение требований к точности станков и выявление необходимости оснащения станков автоматическими устройствами компенсации погрешностей установки заготовок, настройки и поднастройки станков, адаптивного управления, диагностики состояния станков и инструментов и т.д.;

выявление состава технологических задач по обеспечению точности деталей, их членение на элементарные действия и разработка структуры информационных связей, обеспечивающих их решение;

разработка структуры автоматической системы управления точностью изготавливаемых деталей.

5. Разработка системы контроля качества изготавливаемых деталей:

выявление состава задач по контролю качества изделий в процессе изготовления и качества готовой продукции в соответствии с пп. 2 и 4;

разработка принципиальной схемы организации контроля в производственном процессе;

выявление состава контрольного оборудования и измерительных устройств, встраиваемых в станки;

разработка структуры информационных связей в системе контроля качества изделий.

6. Определение необходимого числа станочного, измерительного оборудования и технологической оснастки исходя из объема выпуска продукции и с учетом затрат времени на выполнение операций, настройку, техническое обслуживание и ремонт оборудования.

7. Разработка транспортно-складской системы:

выявление функций транспортно-складской системы и исходных данных для ее проектирования;

разработка стратегии транспортно-складских операций, обеспечивающей бесперебойное функционирование производственного процесса;

выбор вида и определение состава транспортно-складского оборудования, устройств сопряжения с технологическим оборудованием, накопителей и пр.;

планировка технологического, измерительного и транспортно-складского оборудования;

выявление состава транспортно-складских операций, членение их на элементарные действия и разработка структуры информационных связей, обеспечивающих решение;

разработка технических требований к транспортно-складской системе.

8. Разработка системы инструментообеспечения:

определение состава и требуемого числа инструмента в соответствии с технологией и объемом выпуска продукции;

разработка стратегии и принципиальной схемы инструментообеспечения;

определение вместимости и размещения инструментальных магазинов, промежуточных накопителей и склада инструментов;

определение состава устройств для транспортирования, загрузки, хранения, настройки инструмента и обнаружения момента необходимости его замены;

выявление состава задач в системе инструментообеспечения, их членение на элементарные действия и разработка структуры информационных связей, необходимых для инструментообеспечения;
разработка технических требований к системе инструментообеспечения.

9. Разработка технических заданий на проектирование устройств стружкоудаления и подачи СОЖ.

10. Организация производственного процесса во времени:

выбор метода планирования производственного процесса, стратегии запуска заготовок в производство и объема резервного задела заготовок на складе;

расчет временных связей в номиналах и допусках применительно к сменному или суточному заданию (см. п. 8.6);

разработка организационных мероприятий, обеспечивающих соблюдение в установленных пределах потерь фонда времени и отклонений затрат времени на выполнение операций технологических процессов;

выявление технических средств и структуры информационных связей, необходимых для обеспечения бесперебойности производственного процесса;

выявление задач диспетчирования и обеспечивающих его информационных связей;

анализ решений, принятых по пп. 1, 2, 5, 6, 7, 8, и внесение необходимых коррективов.

11. Разработка задания на проектирование системы управления производственным процессом:

обобщение состава информационных задач, выявленных в пп. 4, 5, 7, 8, 10 и формулирование задач управления;

выбор стратегии управления, формирования потоков информации и контуров управления;

постановка задачи на проектирование системы управления производственным процессом и разработку математического обеспечения.

12. Разработка технических заданий на проектирование производственного оборудования и технологической оснастки:

разработка технических заданий на проектирование станочного оборудования с учетом решений, принятых по пп. 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10 и 11;

разработка технических заданий на проектирование технологической оснастки с учетом решений, принятых по пп. 2, 4, 5, 7, 8 и 11;

разработка технических заданий на проектирование средств контроля в соответствии с пп. 5, 10 и 11;

разработка технических заданий на проектирование оборудования транспортно-складской системы с учетом решений, принятых по пп. 7, 10 и 11;

разработка технических заданий на проектирование оборудования системы инструментообеспечения с учетом пп. 8, 10 и 11.

13. Планировка автоматизированной (автоматической) производственной системы с учетом решений, принятых по пп. 7, 8, 9, 10, 11 и 12.

14. Расчет экономической эффективности автоматизированной (автоматической) производственной системы.

Проведение работ по построению автоматизированного (автоматического) производственного процесса в указанной последовательности позволяет избежать многих ошибок и упущений, неизбежных при игнорировании этих работ. Из изложенного, например, видно, что требования к станочному оборудованию могут быть сформулированы лишь в результате разработки технологии, выбора средств обеспечения точности деталей, средств транспортирования заготовок и инструментообеспечения, организации производственного процесса и управления им. Технология, функции этих средств, организация и управление теснейшим образом должны быть увязаны между собой. Это может быть достигнуто только на стадии проектирования производственного процесса, а не в ходе его отладки на оборудовании, избранном без предварительной разработки системы связей в производственном процессе.

В заключение следует сказать, что автоматизация производства является одним из мощных средств увеличения производительности труда и производственных процессов. Однако для общества автоматизация производства полезна только в том случае, если она экономична.

Контрольные вопросы

1. Каким реальным фондом времени располагает каждая единица технологического оборудования в производственном процессе?
2. Какова структура затрат времени на выполнение операции?
3. Какие виды и формы организации производственного процесса применяют при изготовлении деталей?
4. Как может быть организован производственный процесс сборки изделий?
5. Каковы задачи планирования производственного процесса?
6. Как устанавливают норму времени?
7. Каковы пути сокращения подготовительно-заключительного времени?
8. Как уменьшить основное технологическое время?
9. Каковы пути уменьшения доли вспомогательного времени в оперативном времени?
10. Какие структуры оперативного времени возможны в однопоточных процессах изготовления деталей?
11. Что дает расчет временных связей не только в номиналах, но и в допусках?
12. Какое влияние оказывают условия труда на его производительность?
13. Пути и средства автоматизации массового и крупносерийного производства.
14. Пути и средства автоматизации средне- и мелкосерийного производства.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СВЯЗИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРОЦЕССЕ

Производственный процесс изготовления машины не может быть осуществлен без затрат живого и овеществленного труда. Поскольку ресурсы человеческого труда представляют собой наивысшую ценность для человеческого общества, то их рациональное расходование предопределяет уровень благосостояния всех членов общества. В процессе производства продукции экономию затрат труда дает ресурсосберегающая технология.

Связь между затратами обоих видов труда и их сумму отражает формула себестоимости единицы продукции (см. п. 1.8).

Снижение себестоимости продукции является одним из источников повышения материального и культурного уровня жизни людей. Однако ее снижение не должно идти в ущерб качеству продукции. Снижение качества изготавливаемой машины в конечном счете приведет к увеличению расходов, связанных с эксплуатацией машины, сокращением срока ее службы, меньшей надежностью в работе и т.п. Таким образом, обеспечение требуемого качества машины является обязательным условием ее выпуска.

Снижение себестоимости машины, также как и ее отдельных сборочных единиц и деталей, может быть достигнуто путем уменьшения значений всех ее слагаемых.

9.1. СОКРАЩЕНИЕ РАСХОДОВ НА МАТЕРИАЛЫ

Расходы на материалы

$$M = \sum_{i=1}^p G_1 q_1 - \sum_{i=1}^p G_2 q_2,$$

где G_1 — масса материала каждой марки, расходуемого на изготовление машины, кг; q_1 — стоимость 1 кг материала надлежащей марки,

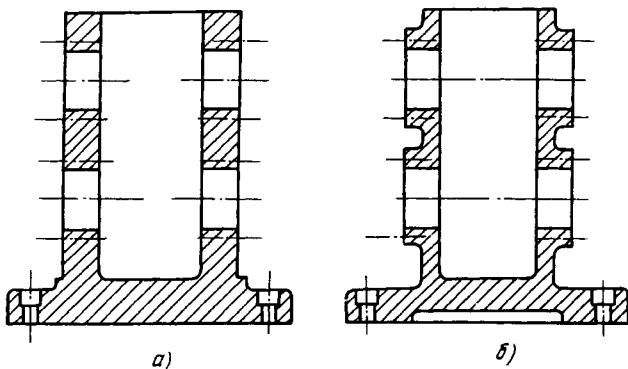


Рис. 9.1. Два варианта конструкции корпусной детали с точки зрения металлоемкости

руб.; G_2 — масса отходов материалов, кг; q_2 — стоимость 1 кг отходов, руб.; p — число марок материалов, расходуемых на изготовление машины.

Следовательно, существуют следующие основные сокращения расходов на материалы:

сокращение массы материалов, расходуемых на изготовление машины;

использование, по-возможности, более дешевых материалов;

получение отходов материалов в виде, пригодном для последующего использования.

Расход материала при изготовлении машины определяется металлоемкостью ее конструкции и массой отходов, образующихся в процессе изготовления. Так как основными материалами, из которых изготовляют машины, являются металлы, то именно их экономии и следует уделить большее внимание.

Металлоемкость конструкции машины полностью зависит от конструктора. Недостаточное знание свойств материалов, приближенные методы расчета, преднамеренное завышение запасов прочности приводят к излишнему расходу материалов. К тому же результату может привести непродуманное конструктивное оформление деталей. В качестве примера на рис. 9.1 показаны две конструкции корпуса редуктора; вторая из них (рис. 9.1, б) менее металлоемка.

Металлоемкость $M_{мет}$ сравнимых (одинакового служебного назначения) конструкций машин может быть сопоставлена через отношение массы металла, вложенного в машину и приходящегося на коли-

чество продукции, произведенной за срок амортизации машины:

$$Mem = (G_M + \Delta G) / tw,$$

где G_M — масса изготовленной машины, кг; ΔG — масса запасных деталей, использованных в течение срока амортизации машины, кг; t — срок амортизации, ч; w — объем продукции, произведенной в течение 1 ч работы машины.

Продукцией могут быть изготовленные детали, тонно-километры перевезенного груза, гектары вспашки и пр.

Сокращение различного рода отходов и потерь металла в процессе изготовления машины является одной из важнейших проблем в народном хозяйстве. По данным Госкомстата СССР, за 1990 г. отходы металла в машиностроении составили 20 %: из 85,5 млн.т потребленного металла 17,1 млн.т ушло в отходы. Удельный вес стружки в общем объеме металлоотходов составил 42 %.

Для суждения о рациональности использования материалов служит коэффициент η_M использования материала, представляющий собой отношение массы $G_{\text{изд}}$ готового изделия к массе $G_{\text{мат}}$ материала, затраченного на его изготовление:

$$\eta_M = G_{\text{изд}} / G_{\text{мат}}.$$

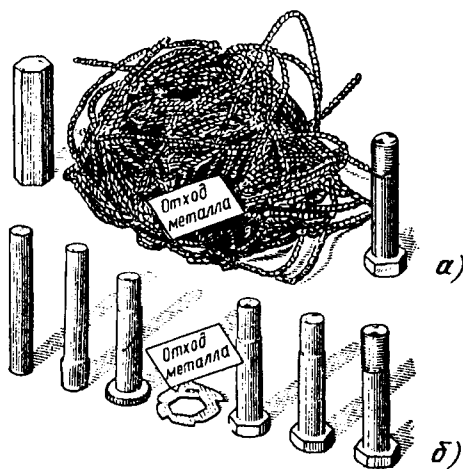
Значительное количество отходов и потерь металла возникает на машиностроительных заводах при получении заготовок деталей. К такого рода потерям относится угар металлов при плавке, сплески, остатки в плавильных агрегатах, окалина, отходы в виде заусенцев, облоя, обрезков, брака заготовок.

При механической обработке большую долю отходов составляет стружка. Но помимо нее в отходы идут обрезки проката, из которого получают заготовки, обрезки при раскрое листового материала и забракованные детали.

Сокращение потерь и отходов не только экономит материалы, позволяя увеличить выпуск изделий, но и экономит затраты обоих видов труда как на данной, так и на всех предшествующих стадиях производства.

Потери материала сокращаются с уменьшением числа стадий, которые проходит предмет природы до его превращения в изделие. Идеальным было бы непосредственное превращение предмета природы в годное изделие. В машиностроении такое стремление сводится к непосредственному получению деталей из полуфабрикатов или, если это невозможно, к сокращению до минимума числа операций, которые должен пройти полуфабрикат до его превращения в готовую

Рис. 9.2. Отходы металла при изготовлении болта на токарном автомате (а) и методом холодной высадки с последующей накаткой резьбы (б)



деталь. Например, непосредственное получение болтов из круглого прутка на холодновысадочных автоматах с накаткой резьбы снизило отход металла при изготовлении болтов М10 (рис. 9.2) в 2,4 раза по сравнению с изготовлением тех же болтов из шестигранного прутка на токарном автомате.

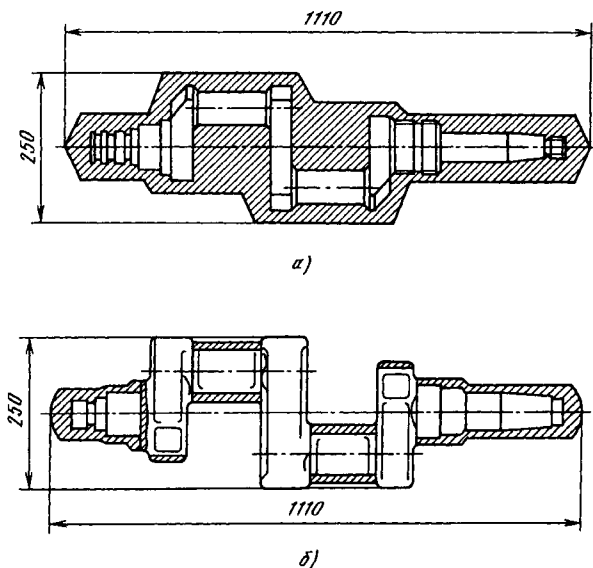
Если получить готовую деталь непосредственно из полуфабрикатов не удастся, наибольший эффект дает максимальное приближение форм и размеров заготовки к готовой детали. Примером может служить сопоставление масс заготовок коленчатого вала, одна из которых, полученная свободной ковкой (рис. 9.3, а), имеет массу 163 кг, а другая, полученная штамповкой в закрытых штампах (рис. 9.3, б), имеет массу 87 кг. С переходом к штампованной заготовке расход материала сокращается почти в 2 раза. Трудоемкость механической обработки заготовки при одинаковом объеме выпуска и на том же оборудовании в первом случае составляет 40,6, а во втором — 19 нормо-часов, т.е. сокращается на 59 %.

Большую экономию материала и снижение трудоемкости механической обработки дают переход от литья в землю к литью в кокиль, оболочковые формы, центробежному литью и другим способам литья, а также использование сварных заготовок.

Уменьшение отходов листового материала дает рациональный раскрой листов. Для поиска наиболее выгодного способа раскроя листов нередко подключается вычислительная техника. Поиск может сопровождаться изменением конструктивных форм деталей, не нарушающим их соответствия своему служебному назначению, но обеспечивающим экономию материала.

Использование наиболее дешевых материалов. Выбору наиболее дешевых материалов при конструировании деталей способствует точность формулировки их служебного назначения и условий, в которых им предстоит работать. Глубокое осмысление задач, возлага-

Рис. 9.3. Заготовки коленчатого вала



емых на деталь, и свойств материалов поможет выбрать например чугун вместо стали, использовать пластические массы, металлокерамические сплавы, композиты и прочие более дешевые материалы вместо дорогих металлов.

Экономия дорогих металлов дает конструкция детали, отдельные части которой сделаны из разных материалов. Например, головка выхлопного клапана двигателей внутреннего сгорания работает в потоке горящих газов с высокой температурой, в то время как стержень клапана работает в нормальных условиях. Стыковая сварка позволяет сделать стержень клапана из хромистой стали 40X, а головку клапана из мартенситной стали 40X10C2M (рис. 9.4).

Те же результаты дает применение биметаллов — двухслойных материалов (сталь — бронза, сталь — алюминиевые сплавы и др.). Из биметаллических материалов изготавливают втулки, служащие опорами валов, вкладыши подшипников автомобильных и тракторных двигателей и другие детали.

Широкие возможности в экономии металлов создает появление новых неметаллических материалов с высокими механическими свойствами. Примером такого рода материалов может служить синтетгран — материал, получаемый из крошки гранита и связующей смеси. Обладая высокой прочностью, синтетгран не дает усадки, хорошо гасит вибрации, легко схватывается с металлом. Синтетгран

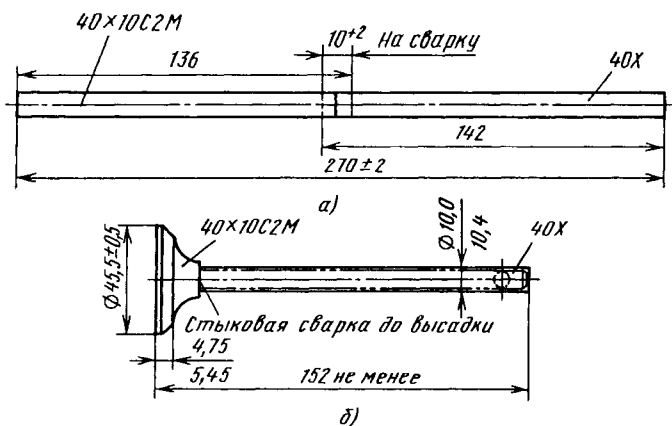


Рис. 9.4. Заготовка клапана (а) и готовая деталь (б) из двух различных материалов, соединенных стыковой сваркой

можно использовать для изготовления корпусных деталей, валов, ступиц зубчатых колес, стержней инструментов и многих деталей других типов. Примечательно, что применение синтеграня принципиально изменяет традиционную технологию изготовления изделий. Отдельные детали или сборочные единицы получают в окончательном виде заливкой синтеграня в формы. При сборке, например редуктора, валы с зубчатыми колесами и стальными подшипниками, изготовленными воедино, ориентируются относительно формы корпуса редуктора. При заливке синтеграном формы корпуса фиксируется положение всех сборочных единиц, находящихся в нем.

Получение отходов в наиболее ценном виде. Отходы металла, получаемые при изготовлении деталей, могут иметь различную стоимость в зависимости от возможностей их дальнейшего использования.

Отходы в виде стружки, обрезков, облоев, лома и пр., непригодные для машиностроительного предприятия, являются ценным сырьем для металлургических предприятий. Ценность таких отходов зависит от организации их сбора и хранения. Недопустимо смешение отходов металла различных марок, их загрязнение и окисление. Отходы, сдаваемые с паспортом их химического состава, ценятся вдвое выше отходов без паспорта. На передовых машиностроительных предприятиях создают специальные цеха по сбору, сортировке, очистке отходов и подготовке к транспортированию.

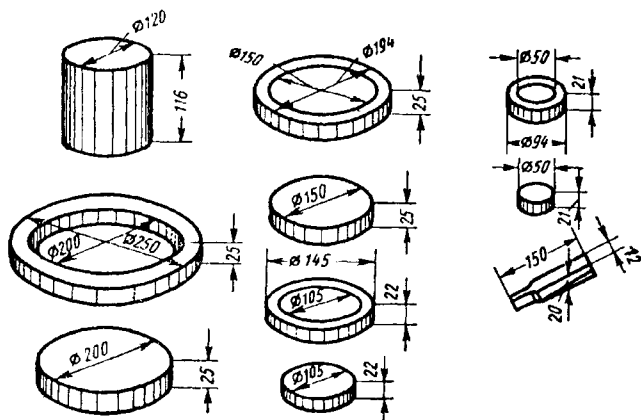


Рис. 9.5. Пример полноценного использования отходов

Если отходы могут быть использованы для получения полноценных заготовок других деталей, их стоимость или не отличается от первоначальной стоимости материала или близка к ней. Примером полноценного использования отходов может служить получение четырех заготовок колец и стержня резца из отходов, образующихся при изготовлении каждой предшествующей заготовки (рис. 9.5).

На некоторых заводах отходы используют для изготовления изделий широкого потребления.

9.2. СОКРАЩЕНИЕ РАСХОДОВ НА ЗАРАБОТНУЮ ПЛАТУ

Расходы на заработную плату основных производственных рабочих

$$З = \sum_{i=1}^m \frac{szt}{f60},$$

где s — часовая ставка рабочего первого разряда, устанавливаемая на определенный период времени коллективным договором, руб.; z — разрядный коэффициент работы, определяемый по квалификационному справочнику; t — время, затрачиваемое на выполнение операции (штучно-калькуляционное время), мин.; f — число станков, оборудо-

вания другого вида или рабочих мест, обслуживаемых одним рабочим; m — число операций, необходимых для изготовления единицы продукции.

Затраты на заработную плату наладчиков рассчитываются так же, как и расходы на заработную плату основных рабочих, но при своих значениях s , z , f и t .

На всех машиностроительных заводах практикуются свои системы доплат к заработной плате, поощряющих снижение трудоемкости и повышение производительности труда, учитывающих условия труда, профессиональное мастерство: качество работы, освоение рабочим смежных операций, овладение смежными профессиями и др.

Сокращение расходов на заработную плату производственных рабочих и наладчиков может быть осуществлено путем уменьшения числа операций, необходимых для изготовления изделия, снижения квалификации работы за счет ее упрощения, сокращения времени, затрачиваемого на выполнение операции, увеличения числа единиц оборудования, обслуживаемых рабочим и наладчиком.

Число операций и квалификация работы предопределяются сложностью конструкции изделия и построением технологического процесса. Разрабатывая их, и конструктор, и технолог не должны упускать из вида возможность изготовления изделия с меньшими затратами труда.

Затраты времени на выполнение операции зависят от значений величин, составляющих штучно-калькуляционное время, и ее структуры. Пути сокращения затрат времени на выполнение операции были рассмотрены выше в п. 8.4, а выбору структуры операции был посвящен п. 8.5.

За время работы станка или оборудования другого вида у рабочего может быть свободное время, в течение которого он может обслужить дополнительно несколько единиц другого оборудования. Так, число станков, которое может обслужить один рабочий при полном использовании его времени и при условии выполнения на каждом станке одинаковых операций,

$$f_p \geq t_{o.t} / (t_p + t_{\Pi}),$$

где $t_{o.t}$ — основное технологическое время на операции; t_p — время обслуживания станка; t_{Π} — среднее время перехода рабочего от одного станка к другому.

Например, при $t_{o.t} = 11,2$ мин, $t_p = 3,7$ мин и $t_{\Pi} = 1,0$ мин рабочий может обслужить $f_p \geq 11,2 / (3,7 + 1,0) = 2,38$, т.е. 3 станка.

При этом он будет полностью загружен, в то время как станки какое-то время будут простаивать. Это видно из циклограммы работы станков и рабочего (рис. 9.6, а).

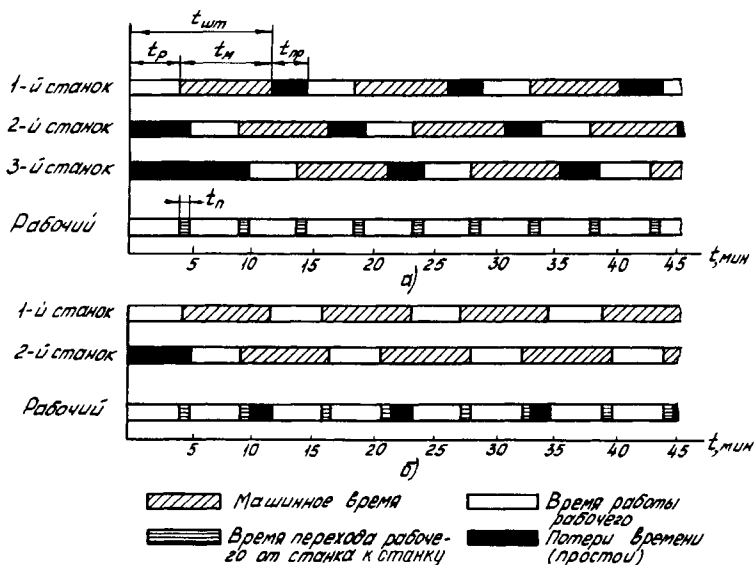


Рис. 9.6. Циклограммы многостаночного обслуживания

Число станков при полном их использовании можно определить из предыдущего соотношения, изменив знак неравенства на противоположный:

$$f_c \leq t_{0,Т} / (t_p + t_n).$$

В данном примере $f_c = 2$ станка. В этом случае (рис. 9.6, б) возникают значительные простои рабочего, что отражается на производительности его труда.

Вводя многостаночное обслуживание, обычно стремятся к полному использованию во времени труда рабочего, сокращая до минимума простои оборудования. И только при эксплуатации уникального, дорогостоящего оборудования, лимитирующего пропускную способность производства, стремятся максимально загрузить оборудование.

В большинстве случаев технологическое оборудование расставляют по ходу технологического процесса. При этом в состав оборудования, необходимого для изготовления деталей, могут входить не только станки различных типов, но и прессы, установки для нагрева токами высокой частоты и закалки, моечные машины, балансирующие

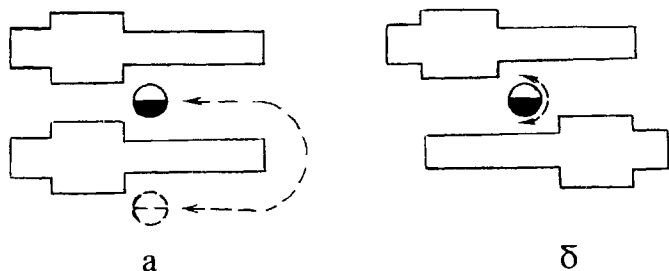


Рис. 9.7. Расстановка оборудования, сокращающая время переходов рабочего от одного станка к другому

машины и пр. Поэтому рабочему нужно будет обслуживать одинаковое оборудование, выполняющее либо одинаковые, либо разные операции; различного вида оборудование. В связи с этим возникает потребность в овладении и совмещении рабочими нескольких профессий, необходимых для обслуживания различных станков и других видов оборудования.

Введение многостаночного обслуживания требует такой расстановки оборудования и организации рабочего места, при которых рабочим затрачивается наименьшее время на переходы от одного станка к другому и их обслуживание. Например, при расстановке станков по схеме, показанной на рис. 9.7, а, путь рабочего больше, чем при расстановке станков по схеме, приведенной на рис. 9.7, б.

Таким образом, внедрение обслуживания одним рабочим нескольких единиц оборудования требует комплексного решения нескольких технологических и организационных вопросов.

Расходы по заработной плате вспомогательных рабочих (крановщиков, подсобных рабочих и т.п.), если они закреплены за данной операцией, определяют так же, как и расходы по заработной плате производственных рабочих. При отсутствии их твердого закрепления за операцией расходы по заработной плате принимают пропорциональными сумме расходов по заработной плате основных рабочих. Сокращение расходов по этой статье возможно путем сокращения числа вспомогательных рабочих за счет механизации и автоматизации вспомогательных работ.

Расходы по зарплате инженерно-технического состава, служащих всех категорий и прочих работников, не участвующих непосредственно в осуществлении производственного процесса, входят в состав накладных расходов, учитываемых в формуле себестоимости слагаемым a_2 .

9.3. СОКРАЩЕНИЕ РАСХОДОВ НА СОДЕРЖАНИЕ, АМОРТИЗАЦИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИЮ СРЕДСТВ ТРУДА

Средства труда на предприятии должны находиться в таком состоянии, чтобы в любой момент времени их можно было применить в производственном процессе. Для этого средства труда нужно содержать в надлежащих условиях и своевременно ремонтировать.

Средства труда постепенно изнашиваются в физическом и моральном смысле, в результате чего их использование становится либо невозможным, либо экономически невыгодным. Средства, необходимые для замены износившихся или морально устаревших оборудования и приспособлений новыми, накапливают за определенный период в виде амортизационных отчислений, входящих в себестоимость единицы продукции.

Сумму амортизационных отчислений рассчитывают по-разному для универсальных и специальных средств труда.

Для универсальных средств труда подсчитывают сумму амортизационных отчислений, приходящихся на 1 мин работы оборудования, приспособления, инструмента, занятых при выполнении операции, множат их на длительность операции и, суммируя по операциям технологического процесса, определяют сумму амортизационных отчислений, приходящихся на единицу продукции.

Для специальных средств труда амортизационные отчисления определяют, относя первоначальные расходы на необходимое оборудование, приспособления и инструменты к общему числу изделий, подлежащих изготовлению по неизменяемому чертежу.

Для приведения средств труда в действие расходуются электроэнергия, сжатый воздух, топливо, охлаждение, смазочные материалы и пр. Затраты на эксплуатацию средств труда и расходы на амортизацию части здания, относящейся к ним, так же включаются в себестоимость единицы продукции.

Основными путями сокращения расходов на содержание, амортизацию и эксплуатацию средств труда являются следующие.

1. Бережное отношение к средствам труда: соблюдение условий эксплуатации, предусмотренных техническими паспортами; защита от воздействия факторов (производственной пыли, влаги, химически активных веществ и др.), ускоряющих изнашивание оборудования и приспособлений; тщательный уход (чистка, смазывание, хранение и т.п.); систематический контроль состояния, своевременное техническое обслуживание и ремонт.

2. Приобретение оборудования, приспособлений и инструментов, стоимость которых находится в соответствии с видом, объемом и длительностью выпуска производимой продукции, что в конечном счете предопределяет процент амортизационных отчислений.

3. Повышение коэффициента использования оборудования, особенно дорогостоящего оборудования (уникального и специального). Например, эксплуатацию многооперационных станков, гибких производственных систем и т.п. нередко ведут в три смены и даже в праздничные дни при коэффициенте загрузки 0,9—0,95 с тем, чтобы получить наибольшую отдачу и снизить амортизационные расходы на единицу продукции.

4. Снижение затрат на силовую электроэнергию за счет применения оборудования, мощность электродвигателей которого не превышает и соответствует выполняемой работе. Экономия электроэнергии, расходуемой на нагрев, сварку, обработку заготовок, а также затрат на пар, газ, сжатый воздух и другие энергоносители.

5. Экономически целесообразное приобретение и использование инструментов. В зависимости от сложности и качества инструментов их стоимость различна, но вместе с тем различны технологические возможности и сроки службы. Например, применение комбинированного и более дорогого инструмента для обработки ступенчатого отверстия в заготовке корпусной детали при определенном объеме выпуска может оказаться более выгодным, так как позволяет совместить переходы и сократить затраты времени на выполнение операции. Это приведет к сокращению времени использования станка и расходов на заработную плату. Точно также инструмент более дорогой, но имеющий большую стойкость, может оказаться выгодным в связи с более длительным периодом его эксплуатации. Таким образом, целесообразность объема затрат на приобретение инструментов может быть определена лишь в зависимости от расходов по другим статьям себестоимости.

6. Эксплуатация режущих инструментов с режимами, соответствующими их экономической стойкости, своевременный вывод из работы затупившегося инструмента, снижение стоимости перетачивания.

7. Рациональное использование объема части здания, относящейся к изготовлению данного изделия и используемой для размещения оборудования, стеллажей, заделов и пр.

9.4. СОКРАЩЕНИЕ НАКЛАДНЫХ РАСХОДОВ

Накладные расходы охватывают те расходы, которые не могут быть определены прямым путем, а только косвенным. В формуле себестоимости накладные расходы учитываются величиной a_2 в виде процента от расходов на заработную плату основных рабочих.

К накладным расходам относятся расходы на заработную плату инженерно-технических работников, счетно-конторского персонала, обслуживающего персонала, вспомогательных рабочих, если они не закреплены за определенными рабочими местами; расходы по содержанию транспорта; расходы по охране труда и технике безопасности; расходы по хозяйственному инвентарю; канцелярские расходы и пр.

Сокращение накладных расходов может осуществляться за счет уменьшения значений всех слагаемых, составляющих накладные расходы: упрощения управленческого аппарата, сокращения брака и потерь и т.д.

9.5. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ

Конструкцию машины или детали принято называть технологичной, если она позволяет в полной мере использовать для изготовления наиболее экономичный технологический процесс, обеспечивающий ее качество при надлежащем количественном выпуске.

Являясь одним из свойств конструкции, технологичность дает возможность снизить трудоемкость изготовления изделия и его себестоимость. Опыт машиностроения показывает, что путем повышения технологичности конструкции машины можно получить дополнительно сокращение трудоемкости ее изготовления на 15 — 25% и снижения себестоимости на 5 — 6 %. Отсюда становится очевидной важность учета возможностей технологии при конструировании машины, ее сборочных единиц и деталей.

Современная технология машиностроения располагает большим разнообразием методов обработки, станков и инструментов, что обеспечивает решение широкого круга технологических задач. Вопрос в том, во что обойдется изготовление изделия предложенной конструкции в данных производственных условиях?

В качестве примера на рис. 9.8 приведен чертеж корпуса гидравлического цилиндра, конструкцию которого нельзя считать технологичной. Стоимость обработки отверстия диаметром 8 на глубину свыше 90 его диаметров в несколько раз превысила бы стоимость всех остальных операций по изготовлению корпуса цилиндра. Предназна-

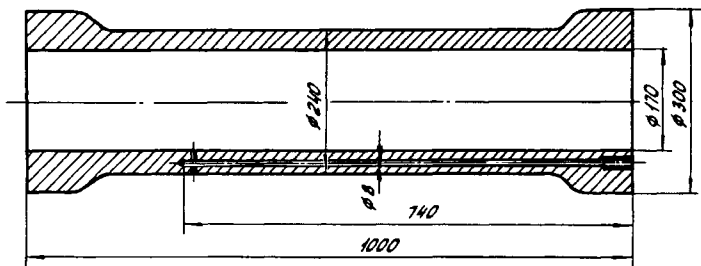


Рис. 9.8. Пример нетехнологичной конструкции корпуса гидравлического цилиндра

ченное для отвода воздуха из полости гидроцилиндра отверстие могло бы быть направлено от левого торца и быть коротким. Воздух из гидроцилиндра мог бы отводиться и через трубку, присоединенную к боковой стенке корпуса с помощью штуцера. В обоих вариантах уровень технологичности гидроцилиндра был бы существенно повышен, а его себестоимость значительно снижена.

Из-за специфики конструкций и условий производства невозможно дать всеобъемлющие рекомендации по поводу того, какую конструкцию изделия считать технологичной или нетехнологичной, поэтому ограничимся несколькими примерами, поясняющими лишь смысл этих представлений.

На рис. 9.9 с левой стороны расположены примеры нетехнологичного оформления конструкций деталей и их элементов, с правой стороны те же конструкции, но более технологичные.

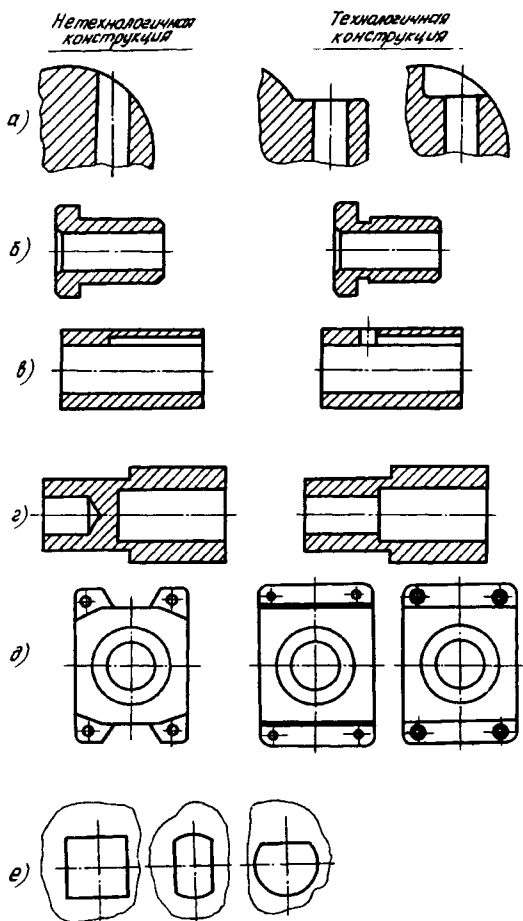
Обработка отверстия со стороны наклонной и криволинейной поверхности (рис. 9.9, а) затруднена тем, что при врезании сверло будет скользить и может сломаться. Нужна плоская поверхность. Без канавки для выхода шлифовального круга (рис. 9.9, б) переход от цилиндрической к плоской поверхности получится с закруглением. Долбить шпоночный паз во втулке до упора (рис. 9.9, в) невозможно; необходимо отверстие (кольцевая выточка) для выхода резца. Обработка сквозного ступенчатого отверстия проще, чем обработка двух отверстий с противоположных сторон втулки (рис. 9.9, г).

Размещение крепежных отверстий в корпусе на сплошной полке, а не на лапках (рис. 9.9, д) позволяет обрабатывать поверхность полки на проход и воспользоваться преимуществами многоместной обработки. Если отверстия дополнить цековками, то необходимость в обработке полки отпадает. Фасонные отверстия (рис. 9.9, е) могут быть обработаны только протяжкой и вырубкой в листовом материале, что экономично лишь при большом объеме выпуска изделий.

Рис. 9.9. Примеры нетехнологичных и технологичных конструкций деталей

Вопрос создания технологичных конструкций машин и их деталей необходимо рассматривать как комплексный и оценивать технологичность деталей во взаимосвязи с другими деталями, составляющими сборочную единицу. Например, для валов наиболее технологичной является бесступенчатая цилиндрическая поверхность. Однако такая конструкция вала усложнила бы конструкцию сборочной единицы из-за усложнения конструкции сопрягаемых с валом деталей и введения дополнительных деталей. В целом себестоимость изготовления сборочной единицы возросла бы.

Конструкция машины или детали, технологичная при одном количественном выпуске, может оказаться нетехнологичной при другом. Объясняется это тем, что при различных объемах выпуска изделий в единицу времени и по неизменяемым чертежам используют оборудование и технологическую оснастку различной производительности и с разными первоначальными затратами. При малом выпуске одинаковых изделий обычно применяют универсальные станки и технологическую оснастку. Первоначальные затраты на их приобретение сравнительно не высоки, но не высока и их производительность. С увеличением выпуска изделий можно использовать более производительные средства труда. Одним из путей повышения



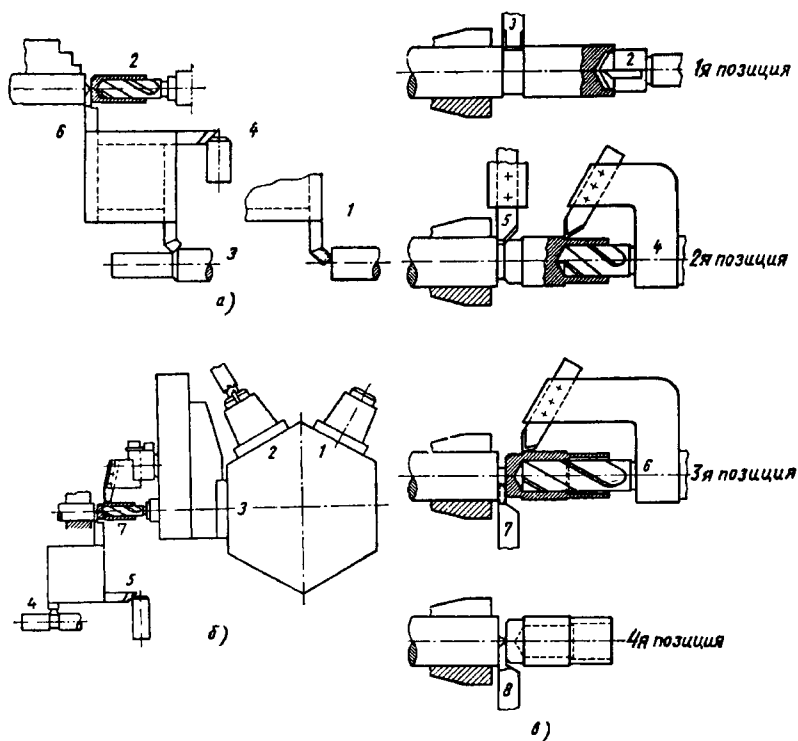


Рис. 9.10. Изготовление колпачка на станках:

а — токарном; *б* — токарно-револьверном; *в* — четырехшпиндельном токарном автомате; 1—8 — последовательность использования инструментов

эффективности высокопроизводительного, но дорогого оборудования является совмещение во времени выполнения переходов технологического процесса. Возможности такого совмещения должна предоставлять конструкция изделий.

Для иллюстрации изложенного на рис. 9.10 показаны три различных способа изготовления колпачка, каждому из которых соответствует свое представление о технологичности его конструкции.

При малом объеме выпуска колпачок будет изготовлен на токарном станке (рис. 9.10, *а*). Все переходы (подрезка торца, сверление отверстия, обтачивание наружной поверхности, снятие фаски и отрезка) будет выполняться последовательно. Такой технологии в

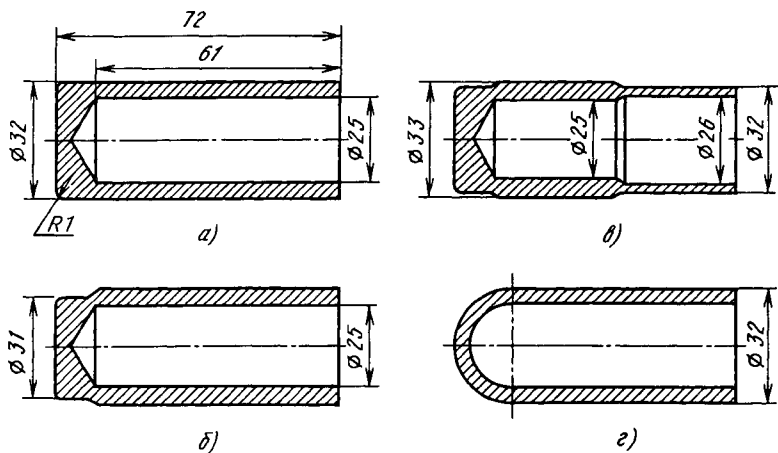


Рис. 9.11. Конструкция колпачка, технологичная для различных объемов выпуска и технологических процессов изготовления

наибольшей мере отвечает конструкция колпачка, показанная на рис. 9.11, а.

С увеличением объема выпуска колпачков становится целесообразным использование токарно-револьверного станка (рис. 9.10, б), позволяющего совместить сверление отверстия и обтачивание большей части наружной поверхности. Оставшаяся часть может быть проточена с поперечного суппорта широким резцом. Для того чтобы при этом избежать образование порошка, следует заведомо уменьшить диаметр хвостовой части колпачка. Для изготовления колпачка на токарно-револьверном станке технологичной будет конструкция, показанная на рис. 9.11, б.

При значительном увеличении объема выпуска колпачков может быть применен для изготовления четырехшпиндельный токарный автомат (рис. 9.10, в). Обработка отверстия и наружной поверхности (на длину хода сверла) здесь может быть распределена между двумя позициями. Но чтобы сверло, подводимое на 3-й позиции с ускоренной подачей, не оставило риски на поверхности отверстия, обработанного на 2-й позиции, диаметр последнего следует увеличить. По тем же причинам необходимо увеличить диаметр наружной поверхности колпачка, обрабатываемой на 3-й позиции. Поэтому при изготовлении колпачка на четырехшпиндельном автомате конструкция колпачка должна соответствовать чертежу, приведенному на рис. 9.11, в.

9.1. Трудоемкость $t_{шт}$ мин, и себестоимость C , коп, изготовления колпачка

Число изделий, подлежащих изготовлению	Технологический процесс изготовления	Конструкция, отвечающая требованиям					
		токарной обработки		соответствующего вида обработки*			
		$t_{шт}$	C	$t_{шт}$	C		
10	На токарном станке	6	25	6	25	8	34
40	На револьверном станке	4	23	3,9	22,5	4,8	29
250	На четырехшпиндельном автомате	2	15	1,8	11	1,8	11

*Конструкция детали, технологичная для данного процесса изготовления.

В табл. 9.1 приведены данные, относящиеся к 1980 г., о затратах штучного времени и себестоимости колпачка, изготавливаемого при разных объемах выпуска тремя способами. Данные таблицы показывают необходимость увязки конструкции изделия с объемом выпуска и технологией изготовления.

При большом количестве колпачков, подлежащих изготовлению, становится экономичным получать их из листа вытяжкой. В этом случае конструкция колпачка должна быть такой, как показано на рис. 9.11, г.

Не редки случаи, когда с понятием о технологичности отождествляется понятие об экономичности конструкции. Так как источники экономии затрат в первом и втором случае различны, то смешивать эти понятия недопустимо. К тому же может оказаться, что более технологичная конструкция изделия не будет экономичной. Так, на рис. 9.12 представлены две конструкции подшипника скольжения. Первая из них будет более технологичной из-за простоты конструкции, а следовательно, и более экономичного технологического процесса изготовления. Технологический процесс изготовления второй втулки более сложен и дорог. Однако то, что втулка первой конструкции целиком изготавливается из дорогостоящей бронзы, а вторая имеет лишь бронзовый вкладыш в стальном корпусе, делает конструкцию последней более экономичной, хотя она и менее технологична.

Понятие о технологичности конструкции распространяется не только на технологические процессы изготовления, но и на процессы технического обслуживания и ремонта машины. Выгоды, которые при осуществлении этих процессов будут связаны со свойствами конструкции машины, могут быть отнесены на счет ее технологичности.

Технологичность конструкции машины, ее сборочных единиц и деталей обеспечивают не только на стадии конструирования, но и после выпуска чертежей. Критический анализ конструкции новой машины технологами, производственными рабочими и ремонтниками, их предложения по внесению изменений в чертежи с целью повышения уровня технологичности конструкции должны быть учтены

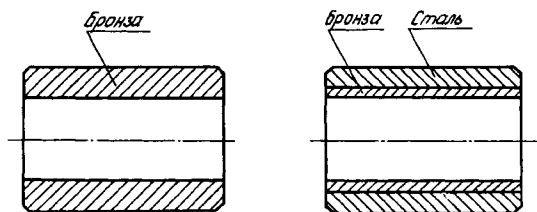


Рис. 9.12. Технологичная (а) и экономичная, но менее технологичная (б) конструкция подшипника скольжения

конструкторами. Наилучшие результаты дает творческое содружество конструкторов с технологами, квалифицированными производственниками и работниками подразделений технического обслуживания и ремонта с самого начала конструирования новой машины.

9.6. УНИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН

Под унификацией машин понимают использование в различных машинах одних и тех же сборочных единиц и деталей. Унификация позволяет увеличить объем выпуска унифицированных изделий и организовать для их изготовления специальные цеха и заводы с применением передовой технологии и организации производства. При сосредоточении выпуска одинаковых изделий на специализированных заводах и цехах открывается возможность использования более дорогого, но более производительного оборудования, инструмента и другой технологической оснастки, способствующих снижению трудоемкости изготовления изделий. Примерами унифицированных изделий могут служить подшипники качения, электродвигатели, детали и узлы автомобилей и т.д.

Массовое производство широкой номенклатуры подшипников на специализированных заводах позволило автоматизировать их изготовление, создать автоматические цеха, в которых изготовление деталей, контроль и сборка ведутся автоматически.

Американская фирма "Ford", выпуская 72 типа автомобилей, использует для них пять типов моторов, три типа задних мостов и три типа коробок скоростей. Широкая унификация деталей и узлов достигнута и на отечественных автомобильных заводах. Например, Горьковский автомобильный завод использовал в грузовых автомобилях ГАЗ-51А — 55 %, ГАЗ-52-03 — 71 %, ГАЗ-53 — 62,3 %, ГАЗ-66 — 42,5 % унифицированных деталей.

В станкостроении применение в различных конструкциях станков одинаковых станин, шпиндельных коробок, столов, гидравлических насосов, гидроцилиндров, панелей управления и пр. позволяет сконцентрировать их изготовление в отдельных цехах заводов и использовать при этом наиболее производительные методы изготовления. Например, производство унифицированных деталей агрегатных станков (станин, салазок, корпусов силовых головок, шпиндельных коробок) было распределено в 50-е гг. между несколькими московскими станкостроительными заводами, составлявшими производственное объединение. Станкостроительный завод им. С. Орджоникидзе, изготавливая в основном детали оригинальной конструкции, осуществлял сборку агрегатных станков, используя продукцию заводов объединения. В настоящее время унификация распространяется и на станки с ЧПУ.

Широкое распространение в машиностроении унификации изделий приводит к существенным экономическим выгодам, получаемым в результате увеличения объемов их выпуска. Установлено, что трудоемкость изготовления тех же изделий составляет 40—60 % при среднесерийном, 15—30 % при крупносерийном и 5—10 % при массовом производстве в сравнении с трудоемкостью, принятой за 100 % в мелкосерийном производстве. Снижение себестоимости изделий при переходе от мелкосерийного их производства к массовому достигает 75 % и более. Отсюда следует, что унификация конструкции изделий является эффективным средством снижения их себестоимости.

9.7. ТИПИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Под типизацией технологических процессов понимают разработку технологических процессов на изготовление типовых деталей, сборочных единиц и машин в целом, отражающих наиболее передовой опыт и достижения промышленности, науки и техники.

Для отнесения машины или детали к тому или иному типу их принято делить на классы. Классом называют совокупность изделий (машин, сборочных единиц или деталей), обладающих близостью служебного назначения.

Сходство служебного назначения изделий порождает сходство требований, которым должна удовлетворять машина, сборочная единица или деталь, близость конструктивных форм, размеров и других качественных показателей. Например, токарные станки делят в зависимости от точности выполняемых на них работ на высокоточные, повышенной и нормальной точности, внося в каждом из классов дополнительное деление по размерам изготавливаемых на них деталей на мелкие, средние и тяжелые станки, предназначенные для изготовления крупногабаритных деталей.

В каждом классе машин, сборочных единиц и деталей выбирают типовую машину, сборочную единицу или деталь. Типовой называют деталь, сборочную единицу или машину, наиболее полно представляющую служебное назначение данного класса.

Так, типовая деталь должна охватывать все конструктивные элементы, присущие данному классу деталей, отличаться наиболее высокими требованиями к точности размеров, изготавливаться из материала, соответствующего служебному назначению деталей данного класса. В случае, если ни одна из деталей данного класса не отвечает в полной мере указанным требованиям, то разрабатывают конструкцию детали-представителя, учитывающую особенности всех деталей, составляющих класс.

На рис. 9.13, а изображено несколько фланцев, имеющих сходное служебное назначение. Фланцы предназначены для базирования по установочной базе наружных колец подшипников, являющихся опорами валов в редукторах. Поверхности А и В фланцев являются основными установочной и двойной опорной базами. В комплект основных баз входит и опорная база, роль которой выполняет одно из крепежных отверстий. Поверхность В — вспомогательная установочная база, к ней прилегает торцом наружное кольцо подшипника. К вспомогательным базам относятся также поверхности Г, Д, предназначенные для установки уплотнений, Е для установки крышки и поверхности крепежных отверстий. Остальные поверхности фланцев являются свободными. Фланцы изготовляют из серых чугунов, заготовками служат отливки.

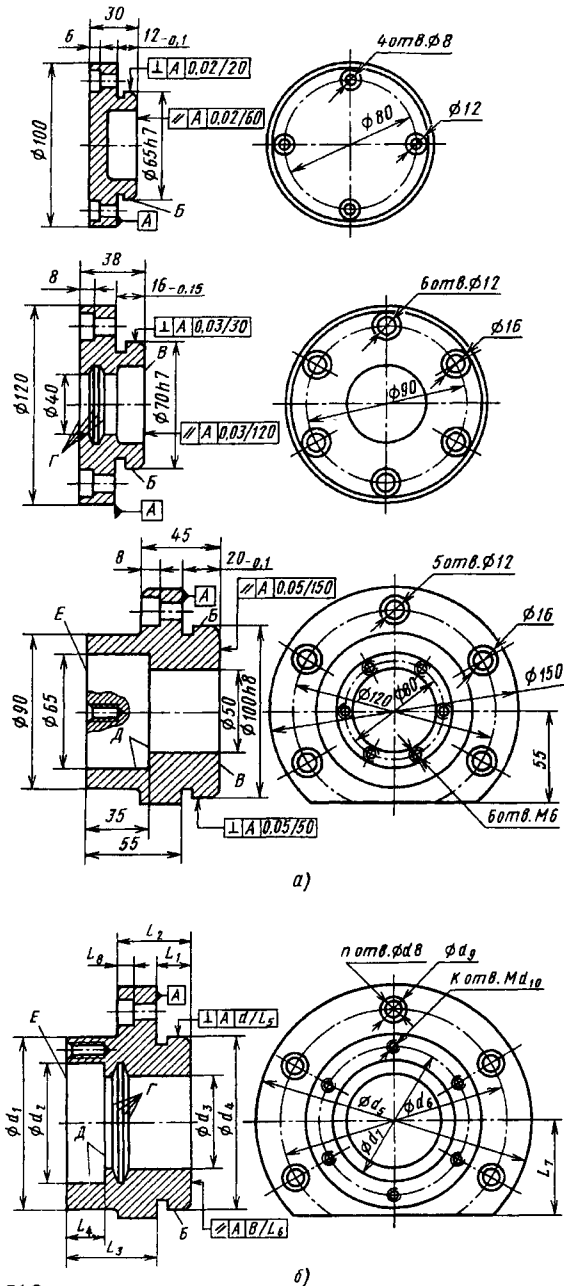


Рис. 9.13. Представители класса фланцев (а) и типовая деталь (б)

9.2. Последовательность обработки заготовки типовой детали (фланца)

Содержание операции (см. рис. 9.13, б)	Станок	Приспособление	Инструмент
<p>1. Установить в трехкулачковый патрон по торцу и поверхности ϕd_5. Подрезать торец, выдержав размер L_2, точно предварительно и окончательно поверхность B, выдержав размер ϕd_4. Подрезать торец A, проточить канавку, выдержав размер L_1 и обеспечить соблюдение требований в отношении размеров a/L_3 и b/L_6. Снять фаску $1 \times 45^\circ$</p>	Токарный	Трехкулачковый самоцентрирующий патрон	Резцы подрезной, проходной, канавочный
<p>2. Установить в трехкулачковый патрон по поверхности A и B. Подрезать торец в размер L_3. Сверлить и расточить отверстие ϕd_3. Расточить отверстие ϕd_2, выдержав размер L_4. Расточить канавку под уплотнитель</p>	Токарно-револьверный	То же	Резцы подрезной, расточной, расточной канавочный, сверло диаметром d_3
<p>3. Установить в тиски. Фрезеровать лыску, выдержав размер L_7</p>	Вертикально-фрезерный	Тиски	Фреза торцовая
<p>4. По кондуктору сверлить ϕd_8 и зенкеровать ϕd_9 крепежных отверстий, выдержав размер L_8</p>	Радиально-сверлильный	Кондуктор со сменными втулками	Сверло диаметром d_8 , зенкеродонный диаметром d_9
<p>5. По кондуктору сверлить, снять фаски и нарезать резьбу Md_{10} в k отверстиях</p>	То же	Кондуктор с отводимой плитой	Сверла диаметрами d_{11} и d_{12} , метчик $M d_{10}$

На рис. 9.13, б показана конструкция типовой детали, обобщающая конструктивные элементы фланцев, образующих класс. Последовательность обработки заготовки применительно к серийному производству приведена в табл. 9.2.

При разработке технологии изготовления конкретной детали из технологического процесса типовой детали выбирают операции и переходы, касающиеся ее конструкции, указывают численные значения ее размеров и требований к точности. Порядок же обработки заготовки остается общим для всех деталей, включенных в класс.

Типовые технологические процессы обычно сопровождаются некоторыми дополнительными данными в виде эскизов переходов и операций, оборудования, приспособлений, инструмента, методов и средств контроля и др.

Разработку типовых технологических процессов ведут с учетом типа производства. Для разных объемов выпуска изделий будут свои типовые технологические процессы, ориентированные на применение наиболее производительного оборудования и технологической оснастки, экономичных для данного типа производства.

Типовые технологические процессы способствуют следующему: облегчению труда технологов и сокращению затрат времени на разработку технологии изготовления новых изделий;

сокращению циклов подготовки производства новых изделий; внедрению в производство наиболее передового опыта и достижений науки и техники;

выявлению потребностей в новых видах оборудования и технологической оснастки;

отработке технологичности конструкции машины, сборочных единиц и деталей.

9.8. МЕТОД ГРУППОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ

В массовом и крупносерийном производстве увеличение производительности процессов изготовления деталей достигается главным образом за счет применения высокопроизводительных специальных оборудования и технологической оснастки.

В мелкосерийном и единичном производстве, где объемы партий изготавливаемых деталей обычно невелики, обходятся в основном универсальными средствами производства. Специальные приспособления и инструмент применяют лишь в исключительных случаях.

Метод групповой обработки предоставляет возможность расширить применение более производительного оборудования в мелкосерийном и единичном производстве. Его сущность сводится к следующему.

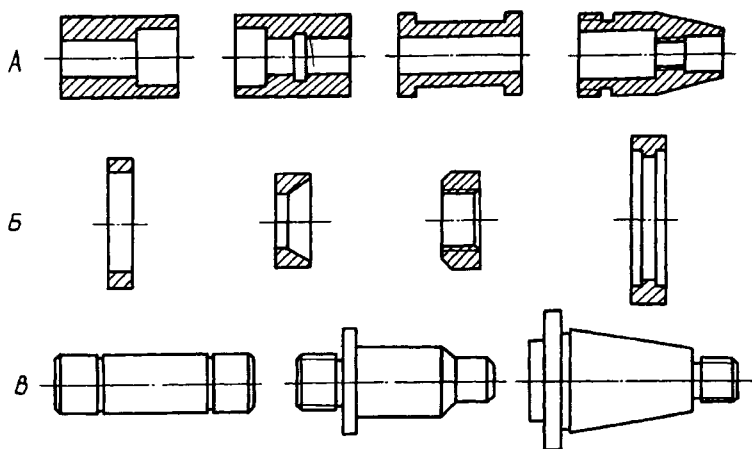


Рис. 9.14. Объединение деталей в группы

Детали, подлежащие изготовлению, группируют по близости их служебного назначения, что приводит к общности конструктивных форм, материалов, размеров, требований к точности. В группе выбирают наиболее сложную деталь и для каждой операции ее технологического процесса разрабатывают схему настройки станка. Другие детали, входящие в группу, могут быть изготовлены на данной операции либо без поднастройки станка и с использованием только части инструмента, установленного на станке, либо с частичной заменой инструмента и частичной поднастройкой станка. Затраты подготовительно-заключительного времени при этом существенно сокращаются. Большая производительность используемых станка и технологической оснастки уменьшает штучное время.

Например, для изготовления каждой из деталей, показанных на рис. 9.14, при условии, что объемы партий не будут превышать 10 шт., вероятнее всего будет избран универсальный токарно-винторезный станок. Однако объединение втулок в группу А, колец в группу В и валиков в группу В позволяет вести изготовление групп деталей на токарном станке с ЧПУ, используя групповые настройки.

Метод групповой обработки используют в среднесерийном производстве при создании переналаживаемых агрегатных станков и автоматических линий. Благодаря методу групповой обработки стала возможна автоматизация мелкосерийного и единичного производства и построение ГПС.

9.9. ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ЭКОНОМИЧНОГО ВАРИАНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Для сопоставления двух и большего числа возможных вариантов технологического процесса с целью выбора наиболее экономичного можно использовать графо-аналитический метод. Для этого все расходы, связанные с осуществлением каждого варианта, делят на две группы: не зависящие и зависящие от числа подлежащих изготовлению изделий.

В первую группу включают расходы на оборудование, приспособления и комплект инструментов. Во вторую группу включают расходы на заработную плату рабочих и наладчиков, расходы на материалы, содержание, эксплуатацию и амортизацию оборудования, приспособлений и инструментов.

Если обозначить первую группу расходов через b , вторую через m и число изделий через x , то себестоимость изготовления x изделий

$$C = b + mx.$$

Эта формула действительна в пределах от $x = 0$ до $x = x_1$, при котором вместо одной потребуются две единицы оборудования с установленными на нем приспособлениями и два комплекта инструмента. Вследствие этого при $x = x_1$ независимые расходы увеличатся в 2 раза. То же произойдет, когда с дальнейшим увеличением значения x потребуются три единицы оборудования и т.д.

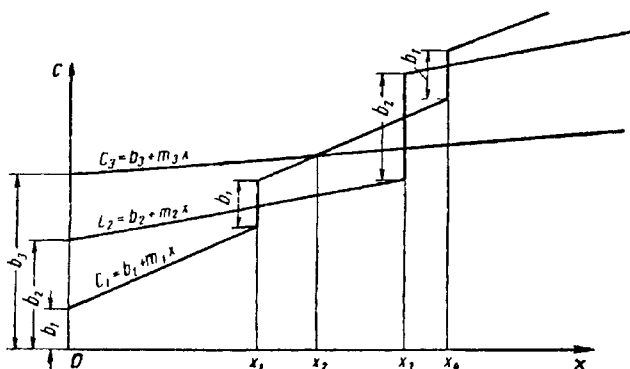


Рис. 9.15. Графическое сопоставление себестоимости трех различных вариантов технологического процесса

Для сравнения нескольких вариантов технологического процесса, например трех, необходимо составить три уравнения

$$C_1 = b_1 + m_1x; \quad C_2 = b_2 + m_2x; \quad C_3 = b_3 + m_3x,$$

каждое из которых действительно при своих предельных значениях x , что и отображает график, приведенный на рис. 9.15. Первый вариант технологического процесса будет экономичнее второго при $0 < x < x_1$ и $x_3 = x < x_4$, второй вариант — экономичнее первого при $x_1 = x < x_3$, а третий вариант оказывается экономичным при $x = x_3$ и больших значениях x .

Изложенный метод позволяет правильно и быстро выявлять наиболее экономичный вариант технологического процесса применительно к данным производственным условиям, что бывает необходимым при освоении выпуска изделий, применении новых видов оборудования, приспособлений, инструмента и т.д.

9.10. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СВЯЗИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИНЫ

Под экономическими связями в производственном процессе изготовления машины следует понимать отношения между затратами живого и овеществленного труда, определяющими себестоимость единицы продукции.

Количественную сторону экономических связей наиболее полно отображает формула себестоимости единицы продукции. Слагаемые себестоимости получают первоначальные значения при разработке конструкции машины и построении технологического и производственного процессов ее изготовления. Все действия, выполняемые при этом, нацелены на обеспечение требуемого качества машины с наименьшими затратами обоих видов труда, т.е. при минимальной ее себестоимости.

Выбор материала деталей и разработка их конструктивных форм, выбор методов достижения требуемой точности машины и расчет конструкторских размерных цепей, выбор вида и формы организации производственных процессов сборки машины и изготовления деталей, выбор способов получения заготовок и их обработки, выбор технологического, транспортного и других видов оборудования, их планировка и т.д. сопровождаются экономической оценкой принимаемых решений.

Экономическую оценку ведут с учетом связей данного решения с затратами на его реализацию на различных стадиях технологического и производственного процессов. Например, выбор метода достижения требуемой точности замыкающего звена размерной цепи и распределения допуска замыкающего звена между составляющими звеньями делают в предвидении затрат на сборку и изготовление деталей. Способ получения заготовок выбирают не только с учетом их себестоимости, но и стоимости материала, переводимого в стружку, а также затрат, связанных с удалением припусков в процессе обработки заготовок. При выборе технологического оборудования учитывают не только его первоначальную стоимость, но и уровень производительности, а следовательно, расходы по заработной плате рабочего и наладчика, обслуживающих это оборудование. Проводя планировку оборудования, стремятся не только к экономии производственной площади, но и к сокращению пути и расходов на транспортирование объектов производства, а также к обеспечению наиболее благоприятных условий труда, влияющих на его производительность, а следовательно, затрагивающих расходы на заработную плату, и т.д.

Таким образом, проектируя машину, строя технологический и производственный процессы ее изготовления, вскрывают и учитывают связи между различными видами затрат, стремясь к минимуму себестоимости подготовляемой к выпуску машины.

В процессе производства машины экономические связи проявляются в действиях и подчинены вероятностным законам. Например, расходы по заработной плате рабочих связаны с расходами на материал через величины припусков у заготовок, так как больший припуск требует больших затрат времени на его удаление. Большие затраты времени на выполнение операции увеличивают долю амортизационных отчислений по оборудованию, приспособлениям, инструментам, приходящихся на изготовленную деталь, увеличивают расход электроэнергии и используемых при этом материалов.

Распределение амортизационных отчислений между производимой продукцией во многом зависит от оперативного планирования и управления ходом производственного процесса. Недоиспользование фондов времени оборудования повышает долю амортизационных отчислений, приходящихся на изделия, изготовленные на нем. Причинами недоиспользования фондов времени оборудования могут быть его низкая надежность, низкое качество инструмента, неудачная организация рабочего места, низкая и непостоянная во времени производительность труда рабочих и многое другое.

Ход производственного и технологического процессов находится под воздействием многих факторов, вызывающих отклонения затрат времени на выполнение операций, доставку заготовок и инструмен-

тов к рабочим местам, вынужденные простои оборудования, затруднения с наладкой оборудования, сбои в информационном процессе и т.д. В конечном счете все эти отклонения отражаются на себестоимости изделий.

Если изготовление каждой детали на отдельной операции сопроводить подсчетом себестоимости, то обнаружится рассеяние ее значений. Рассеиваться будут и значения себестоимости деталей, прошедших весь технологический процесс изготовления. Отсюда следует, что процесс формирования себестоимости единицы продукции является случайным процессом, поэтому характеристиками себестоимости партии изделий должны служить ее среднее значение и поле рассеяния.

Если исходить из того, что выпускаемая машина должна отвечать заранее выдвинутым требованиям не только к ее качеству, но и к себестоимости, заданным в виде номинального, среднего значений и поля допуска, ограничивающего отклонения себестоимости, то для достижения требования по себестоимости надлежит выполнять расчет экономических связей и в номиналах и допусках по методике, изложенной в п. 2.3. Используя в качестве исходного уравнение себестоимости, расчетом необходимо охватить конструкцию машины и все элементы технологического и производственного процесса, учитывая элементарные экономические связи, проявление которых неизбежно в процессе формирования себестоимости. Как и при расчетах размерных и временных связей, расчет экономических связей должен подвести к мероприятиям по удержанию затрат в пределах установленных допусков.

Расчет допусков по трем направлениям может привести к пересечению требований. Например, требования к качеству заготовок по экономическим соображениям могут оказаться более высокими, чем требования к точности деталей или точности временных связей. В таких случаях надлежит избирать наиболее высокие требования.

Процесс формирования себестоимости изделий, как и всякий случайный процесс, является управляемым. Управление себестоимостью в ходе производственного процесса возможно как на уровне отдельных операций, так и технологического и производственного процессов в целом. Управление можно вести в направлениях экономии материалов, уменьшения расходов по заработной плате, экономии электроэнергии, сокращения цикла изготовления изделий и т.д. Целью управления является удержание всех видов затрат в пределах, установленных в результате расчета экономических связей. Управление может быть ручным и автоматическим.

Теоретическое обоснование возможности адаптивного управления не только точностью изготавливаемых деталей, но и их себестоимостью

было сделано Ю.М. Соломенцевым [1]. При неперменном условии обеспечения требуемого качества деталей на систему адаптивного управления возлагается минимизация затрат на содержание и эксплуатацию станка, инструмента и заработную плату рабочего и наладчика. Задачу управления составляет ведение обработки заготовки на таких режимах, при которых суммарные затраты на выполнение операции оказываются минимальными.

Следует отметить, что пока экономические связи, действующие в производственном процессе, вскрыты и осмыслены неполно и неглубоко. Вследствие этого переход от себестоимости создаваемой машины к мероприятиям и средствам, обеспечивающим требуемую себестоимость, вызывает немалые затруднения. Чаще себестоимость выявляют по конечному результату, т.е. после того, как изделие будет изготовлено, а не формируют ее, разрабатывая конструкцию и производственный процесс.

Для того, чтобы создаваемые машины были экономичны и конкурентоспособны, необходимо проникновение в область экономических связей с тем, чтобы осознанно формировать их при проектировании машины, технологии, производственного процесса и управлять ими в процессе изготовления машины. Особую остроту эти положения приобретают в условиях рыночной экономики, где качество и экономичность изделий определяют саму возможность финансового существования их производителей.

Контрольные вопросы

1. Какими путями следует идти в сокращении расходов на материалы?
2. Как снизить расходы на заработную плату?
3. Как добиться уменьшения расходов на содержание, амортизацию и эксплуатацию средств труда?
4. Каков смысл понятия "технологичность конструкции изделия"?
5. Каким образом повышение уровня технологичности конструкции изделия влияет на его себестоимость?
6. Как представление об уровне технологичности конструкции изделия связано с объемом выпуска изделий?
7. Может ли технологичная конструкция изделия быть неэкономичной?
8. Какую пользу приносит унификация конструкций машин?
9. Какова суть типизации технологических процессов и что она дает?
10. Какие выгоды можно извлечь от использования метода групповой обработки заготовок?
11. Как сопоставить экономичность вариантов технологического процесса?
12. Какова сущность экономических связей в производственном процессе и как добиться в процессе изготовления машины соответствия ее действительной себестоимости требуемой?

ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИНЫ

Разработка технологического процесса изготовления машины представляет собой решение сложной комплексной задачи, охватывающей процессы сборки машины и изготовления деталей, входящих в ее состав.

Последовательность разработки технологического процесса изготовления машины, как решение прямой (проектной) задачи, направлена от конечного результата, т.е. машины в сборе, к изготовлению деталей и получению заготовок. Необходимость придерживаться такой последовательности объясняется тем, что построение технологических процессов изготовления деталей подчинено процессу сборки машины, а выбор способов получения заготовок и простановка размеров в их чертежах находятся в зависимости от технологии изготовления деталей. Только придерживаясь такой последовательности можно обеспечить технологией формирование размерных связей в машине, диктуемых ее служебным назначением.

Для разработки технологического процесса изготовления машины необходимы следующие исходные материалы:

описание служебного назначения машины;

технические требования и нормы точности, вытекающие из служебного назначения машины;

рабочие чертежи машины;

число машин, намечаемых к выпуску в единицу времени и по неизменяемым чертежам;

условия, в которых предполагается организовать и осуществлять изготовление машин: на действующем или создаваемом заводе, возможности кооперирования с другими заводами, условия снабжения, наличие и перспективы получения кадров и т.д.;

плановые сроки подготовки производства и выпуска машины.

Все эти исходные материалы необходимы для детального уяснения задачи, которая ставится перед технологическим процессом, и условий, в которых он должен осуществляться. Чем правильнее и глубже будет понята поставленная задача, тем быстрее и правильнее она будет решена.

Очень важно знать условия, в которых будет осуществляться технологический процесс. Если технологический процесс разрабатывается для создаваемого завода, то свобода выбора оборудования, приспособлений и инструментов значительно шире, чем если бы он разрабатывался для действующего завода. В последнем случае пришлось бы привязывать технологический процесс к имеющемуся оборудованию, считаться с его загрузкой, учитывать возможности инструментального цеха и получения по кооперации заготовок, готовых деталей и сборочных единиц (крепежных деталей, подшипников, электродвигателей и пр.).

10.1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИНЫ

Задачей каждого технологического процесса является экономичное изготовление машин, отвечающих их служебному назначению. Для успешного решения этой задачи разработку технологического процесса изготовления машины нужно вести в следующей последовательности:

1) изучение служебного назначения машины, технических требований, норм точности и критический анализ их соответствия служебному назначению;

2) ознакомление с намечаемым количественным выпуском машин в единицу времени и по неизменяемым чертежам;

3) изучение рабочих чертежей машины и их критический анализ с точки зрения возможности выполнения машиной ее служебного назначения, методов достижения геометрической точности, заложенных в конструкцию, технологичности конструкции машины;

4) разработка технологии общей сборки машины и сборки ее сборочных единиц;

5) изучение служебного назначения деталей, технических требований, норм точности и критический анализ их соответствия своему служебному назначению, а также анализ технологичности конструкции деталей;

6) выбор наиболее экономичных способов получения заготовок, обеспечивающих требуемое качество деталей;

- 7) разработка технологических процессов изготовления деталей;
- 8) планировка оборудования и рабочих мест;
- 9) оформление заказов на проектирование и изготовление оборудования, приспособлений и инструментов;
- 10) внесение в технологический процесс коррективов и устранение допущенных ошибок и недочетов.

Изучение служебного назначения машины и анализ технических требований и норм точности. Приступая к разработке технологического процесса, технолог должен отчетливо представлять цель своей работы, каковой является изготовление качественной и экономичной машины. Для усвоения цели необходимо вникнуть в формулировку служебного назначения машины, ознакомиться с показателями ее качества, понять, как требования к качеству обеспечиваются конструкцией машины, и убедиться в правильности выдвинутых требований.

Каждая машина предназначена для выполнения определенного процесса, результатом которого является продукция того или иного вида. Поэтому изучение служебного назначения машины надо начинать с ознакомления с результатами ее действия. Например, изучение служебного назначения станка необходимо начинать с ознакомления с формами, размерами и требованиями к точности деталей, для изготовления которых предназначен станок. Далее следуют требования к производительности, мощности, надежности станка и т.д.

Формулировка служебного назначения машины должна включать перечень условий, в которых машине предстоит работать и производить продукцию требуемого качества в необходимых количествах. Условия работы машины следуют из технологического процесса изготовления продукции и представляют собой комплекс показателей с предельными отклонениями, характеризующими вид и качество исходного продукта, потребляемой энергии, режимы работы машины, состояние окружающей среды и пр.

Любая машина выполняет технологический процесс с помощью различного рода связей (размерных, кинематических, динамических, электрических, гидравлических, пневматических и др.), действующих между ее исполнительными поверхностями. Возможность осуществления связей, необходимых для работы машины, заложена в ее конструкции в виде связей свойств материалов и размерных связей. Поэтому, изучая служебное назначение машины и выявляя соответствие ему технических требований и норм точности, технолог должен понять связь последних со служебным назначением машины и требованиями к ее качеству. Методика перехода от служебного назначения машины к техническим требованиям и нормам точности была изложена в гл. 4.

Следует отметить большую ответственность первого этапа в разработке технологического процесса изготовления машины. Практика показывает, что недооценка его важности нередко оказывается причиной производства недоброкачественных машин. При анализе технических требований и норм точности, заданных в чертежах или приложениях к ним, приходится сталкиваться с недостаточно глубоким их обоснованием. Недочеты исходных данных приводят к неправильной технологии изготовления машины, что неизбежно отражается на ее качестве.

Намечаемый выпуск машины. Ознакомление с намечаемым выпуском машин в единицу времени и по неизменяемым чертежам необходимо для выбора наиболее экономичных видов и форм организации производственных процессов сборки машины и изготовления деталей. Организация производственного процесса предопределяет построение технологических процессов, выбор оборудования и технологической оснастки, степень его механизации и автоматизации.

Стремление обеспечить более полную загрузку выбираемого оборудования может привести к выводам об экономической целесообразности изменения объема выпуска машин в ту или иную сторону. Такие выводы могут возникнуть на любых этапах разработки технологического процесса изготовления машины и построения производственного процесса.

Изучение рабочих чертежей машины. Рабочие чертежи машины изучают с целью ознакомления с ее устройством, функциями узлов, механизмов и деталей и размерных связей, обеспечивающих исполнение машиной своего служебного назначения.

Изучение следует начинать со сборочных чертежей машины. При этом в самом начале надо выявить исполнительные поверхности машины и связи между ними, обеспечивающие выполнение машиной предписанного процесса. Далее следует выявить механизмы и детали, с помощью которых эти связи осуществляются. Обычно к чертежам машины прилагают кинематическую, гидравлическую, электрическую и другие схемы, облегчающие выполнение этой работы. Однако схемы размерных связей, за редким исключением, в чертежах машины не дают, поэтому технологу самому приходится выявлять конструкторские размерные цепи для того, чтобы разобраться в размерных связях, обеспечивающих относительное положение исполнительных поверхностей машины и необходимые формы движения в машине, выявить сборочные единицы и детали, с помощью которых в машине реализуются вышеуказанные связи, выявить размерные связи между сборочными единицами и деталями, составляющими машину, установить характер связей между размерными цепями.

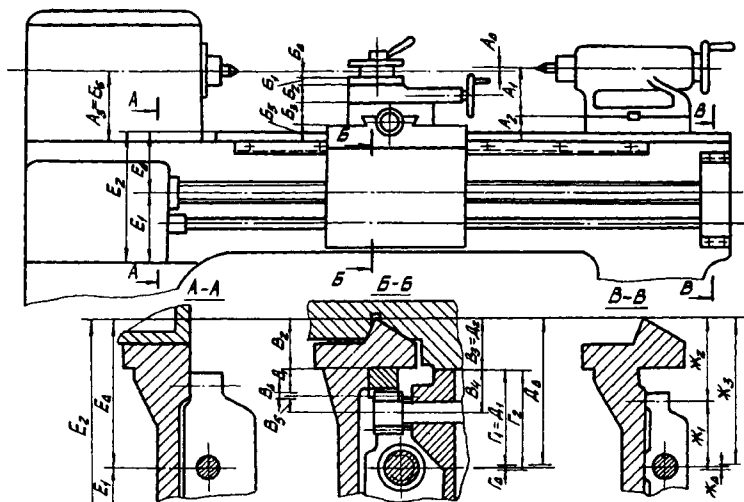


Рис. 10.1. Размерные цепи токарного станка

На рис. 10.1 показаны схемы некоторых размерных цепей токарного станка. С помощью каждой из них решается своя конструкторская задача. Например, размерная цепь *A* определяет в вертикальной плоскости соосность переднего и заднего центров станка. Соосность центров обеспечивается размерами передней и задней бабок, а также мостика, на котором размещена задняя бабка. Размерная цепь *B* устанавливает размерную связь между поверхностью резцедержателя, на которую ставится резец, с осью переднего центра. Ее образуют размеры передней бабки, каретки, поперечного суппорта и резцедержателя. Размерные цепи *A* и *B* обеспечивают относительное положение исполнительных поверхностей токарного станка и параллельно связаны друг с другом.

Размерные цепи *B* и *Г* представляют размерные связи соответственно между зубчатым колесом в фартуке и зубчатой рейкой, между ходовым винтом и маточной гайкой. С помощью размерных цепей *Д* и *Е* обеспечивается параллельность оси ходового винта направляющим станины. Условие параллельности является равенство $E_{\Delta} = D_{\Delta}$. С помощью размерной цепи *Ж* достигается соосность ходового винта с отверстием в заднем кронштейне. Эти размерные цепи устанавливают размерные связи между сборочными единицами и деталями, составляющими станок. На рис. 10.1 можно видеть наличие параллельных связей между этими размерными цепями.

В результате изучения рабочих чертежей должны быть разработаны схемы размерных цепей, если таковые отсутствуют. Рабочие чертежи машины изучают на протяжении разработки всего технологического процесса изготовления машины. Это необходимо для изучения служебного назначения сборочных единиц и деталей, оценки технологичности их конструкции, выявления заложенных в конструкцию методов достижения требуемой точности машины, установления последовательности ее сборки, анализа правильности постановки размеров в чертежах, выбора технологических баз и решения прочих задач.

Ознакомление с чертежами машины на этой стадии разработки технологического процесса дает общее представление об устройстве, ее составных частях и конструктивном обеспечении действия связей, необходимых для исполнения машиной своего служебного назначения.

10.2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ МАШИНЫ

Технологический процесс сборки складывается из ряда переходов, заключающихся в соединении сопрягаемых сборочных единиц и деталей путем приведения в соприкосновение основных баз присоединяемой сборочной единицы или детали со вспомогательными базами сборочной единицы, к которой они присоединяются. К технологическому процессу сборки также относят переходы, связанные с проверкой точности относительного положения и движения сборочных единиц и деталей, пригонкой, подбором, регулированием, фиксацией относительного положения сборочных единиц и деталей, а также с проверкой правильности действия различных механизмов и устройств и их регулированием.

В сборочные процессы включают переходы, связанные с очисткой, мойкой, окраской, отделкой деталей, сборочных единиц и машины в целом, разборкой машины, если ее отправляют потребителю в разобранном виде, и упаковкой машины.

Выбор вида и формы организации производственного процесса сборки машины

Как было указано выше, решающим фактором в выборе вида и формы организации процесса сборки машины является число машин, подлежащих изготовлению в единицу времени и по неизменяемым чертежам. Целесообразность выбора тех или иных вида и формы

организации процесса сборки должна быть обоснована технико-экономическим расчетом.

При большом количестве выпускаемых машин или сборочных единиц наиболее экономичной является поточная сборка. Если конструкция машины достаточно жесткая и масса машины сравнительно невелика, целесообразно выбрать подвижную сборку с непрерывным перемещением собираемой машины. В противном случае следует избрать подвижную сборку с периодическим перемещением собираемой машины. Машины больших габаритных размеров и массы экономичнее собирать, оставляя их неподвижными и периодически перемещающая бригады рабочих от одной машины к другой.

С уменьшением количества машин, подлежащих изготовлению, когда поточная сборка становится неэкономичной, следует применить непоточный вид сборки с перемещающимися объектами. При изготовлении машин в малых количествах приходится использовать стационарную сборку.

Выбор вида и формы организации сборки на данном этапе разработки технологического процесса следует считать предварительным. Уточнение выбора последует после того, как будут избраны оборудование и технологическая оснастка для сборочного цеха и проведено нормирование сборочных работ.

Выбор методов достижения требуемой точности машины. Корректировка рабочих чертежей

Представления о служебном назначении и устройстве машины, требованиях, предъявляемых к ней, и размерных связях, заложенных в конструкцию, позволяют приступить к выбору методов достижения требуемой точности машины.

Прежде всего должны быть выявлены задачи по обеспечению требуемой точности машины в процессе ее сборки. Состав задач следует из технических требований и норм точности, установленных в соответствии со служебным назначением машины. Каждое требование к точности относительного положения исполнительных поверхностей или сборочных единиц и деталей в машине представляет собой самостоятельную задачу, требующую решения соответствующей конструкторской размерной цепи. Ее схема, в числе прочих размерных цепей, должна быть выявлена на предшествующем этапе разработки технологического процесса изготовления машины.

Выбирая метод достижения требуемой точности замыкающего звена конкретной размерной цепи, технолог должен:

выявить наличие в чертежах размеров, являющихся ее составляющими звеньями;

ознакомиться с допусками, ограничивающими отклонения составляющих звеньев размерной цепи;

проанализировать соответствие допусков составляющих звеньев, установленных конструктором, допуску замыкающего звена, решив для этого обратную задачу, и выявить метод достижения точности, избранный конструктором;

оценить, удачен ли в экономическом отношении сделанный конструктором выбор метода при заданном объеме выпуска машин;

принять решение о методе достижения требуемой точности замыкающего звена и, если необходимо, рассчитать допуски согласно избранному методу;

выявить наличие компенсаторов, если решено применить для достижения требуемой точности замыкающего звена метод пригонки или регулирования;

при необходимости совместно с конструктором внести коррективы в чертежи (изменить простановку размеров, изменить значения допусков, ввести компенсаторы и др.).

В процессе сборки машины ее точность достигается через технологические размерные цепи, совпадающие с конструкторскими размерными цепями только в случаях, когда точность замыкающих звеньев достигается с применением одного из методов взаимозаменяемости. При использовании методов пригонки и регулирования технологические размерные цепи отличны от конструкторских. Для их выявления следует вскрыть все этапы проведения пригонки или регулировки и выбрать средства, необходимые для выполнения этих работ. Такими средствами могут быть специальные приспособления и калибры, универсальные измерительные средства и др. Задача на каждом из этапов решается с помощью своей технологической размерной цепи. Достигнутая точность замыкающего звена конструкторской размерной цепи будет зависеть от точности выполнения пригонки или регулировки, точности используемых средств и их установки, а также точности измерений.

Расчет технологических размерных цепей позволяет ограничить отклонения, возникающие непосредственно при выполнении пригонки или регулировки, и предъявить требования к точности используемых средств, их установки и проводимых измерений.

Примером достижения требуемой точности в процессе сборки с помощью технологических размерных цепей может быть задача обеспечения соосности центров у токарного станка в вертикальной плоскости.

На рис. 10.2, *a* показана конструкторская размерная цепь *A*, отображающая связь между задним и передним центром станка.

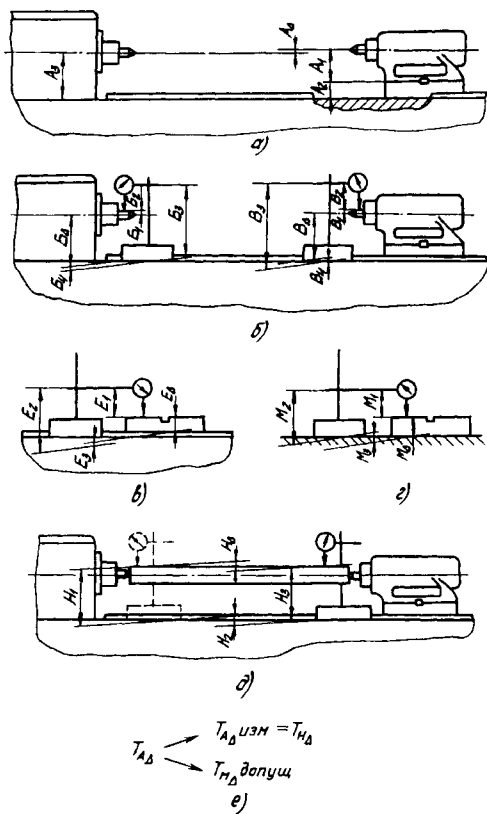
Рис. 10.2. Обеспечение соосности центров токарного станка в вертикальной плоскости

Требования к точности замыкающего звена A_{Δ} : $T_{A_{\Delta}} = 0,02$ мм, $\Delta_{0A_{\Delta}} = +0,01$ мм. Смещение заднего центра относительно переднего допускается лишь в сторону его превышения.

При столь жестком требовании к точности замыкающего звена A_{Δ} будет неэкономичным применение методов полной или неполной взаимозаменяемости. Несмотря на значительный объем выпуска станков, приходится отдать предпочтение методу пригонки. В качестве компенсатора целесообразно избрать высоту A_2 плиты.

Согласно методике, изложенной в п. 3.4, при применении метода пригонки должны быть установлены экономически приемлемые значения полей допусков T'_{A_i} на составляющие звенья, заданы координаты Δ'_{0A_i} середин полей допусков, вычислена максимально возможная компенсация δ_k и внесена поправка Δ_k в координату середины поля допуска компенсирующего звена для обеспечения необходимого припуска на пригонку.

Структура технологических размерных цепей, с помощью которых будет достигаться требуемая точность замыкающего звена A_{Δ} , зависит от избранного порядка действий по выполнению пригонки и применяемых средств. Предположим, что пригонку решено вести следующим путем:



1. Установить на станину плиту и заднюю бабку. Передняя бабка была установлена на станину ранее.

2. Измерить индикатором расстояние между осью переднего центра и направляющими станины (рис. 10.2, б)

$$B_{\Delta} = -B_1 - B_2 + B_3 - B_4.$$

3. Измерить тем же способом расстояние между осью заднего центра и направляющими станины

$$B_{\Delta} = -B_1 - B_2 + B_3 - B_4.$$

Составляющие звенья B_4 и B_4 учитывают погрешность установки стойки с индикатором на станине.

4. Вычислить разность между размерами $\Gamma_1 = B_{\Delta}$ и $\Gamma_2 = B_{\Delta}$:

$$\Gamma_{\Delta} = \Gamma_1 - \Gamma_2 = B_{\Delta} - B_{\Delta}.$$

5. Вычислить избыток в превышении заднего центра над передним

$$D_{\Delta} = D_1 - D_2 = \Gamma_{\Delta} - A_{\Delta}.$$

6. Измерить высоту плиты, не снимая ее со станины (рис. 10.2, в),

$$E_{\Delta} = -E_1 + E_2 - E_3.$$

7. Вычислить размер плиты, который надо выдержать в результате пригонки,

$$K_{\Delta} = K_1 - K_2 = E_{\Delta} - D_{\Delta}.$$

8. Вычислить припуск, подлежащий удалению в процессе пригонки плиты,

$$L_{\Delta} = L_1 - L_2 = E_{\Delta} - K_{\Delta}.$$

9. Осуществить пригонку плиты, измеряя ее высоту M_{Δ} и стремясь к получению $M_{\Delta} = K_{\Delta}$ (рис. 10.2, г):

$$M_{\Delta} = -M_1 + M_2 + M_3.$$

10. Установить заднюю бабку на плиту и измерить с помощью индикатора и оправки фактическое смещение заднего центра относительно переднего (рис. 10.2, д)

$$H_{\Delta} = H_1 + H_2 - H_3.$$

11. Оценить достигнутый результат, сопоставив значение H_{Δ} с требуемым значением A_{Δ} .

Если считать, что вычислительные операции выполнены без ошибок, то источниками отклонения на замыкающем звене A_{Δ} будут погрешности измерения размеров M_{Δ} и H_{Δ} , а также отклонение достигнутого значения M_{Δ} от K_{Δ} , допущенное по завершении пригонки. Погрешности измерения размеров B_{Δ} , B_{Δ} и E_{Δ} отразятся на значении размера K_{Δ} , т.е. размера, на получение которого будет нацелена пригонка. В соответствии с этим для достижения требуемой точности соосности A_{Δ} заднего центра с передним следует частями поля допуска $T_{A_{\Delta}}$ ограничить отклонения, влияющие на точность пригонки (рис. 10.2, е).

Размерные связи в процессе совмещения оси заднего центра с осью переднего изменились бы, если применить другой способ проведения пригонки. Например, о смещении оси заднего центра относительно оси переднего можно судить по показаниям индикатора, установленного на шпинделе (рис. 10.3). Вращая шпиндель и ведя индикатором обкатку заднего центра, можно определить смещение оси заднего центра относительно оси вращения шпинделя как полуразность показаний индикатора в двух крайних его положениях в вертикальной плоскости. Измеряя таким образом смещение, можно контролировать его значения, приступая к пригонке, выполняя и завершив ее. Но при этом всякий раз для измерения потребовалось бы установить на станине станка плиту с задней бабкой. Очевидно, что при таком способе пригонки размерные связи в технологическом процессе упростились бы, так как в процессе ее осуществления контролировалось бы текущее и конечное значение самого замыкающего звена A_{Δ} . Точность A_{Δ} зависела бы от погрешности измерения и отклонения A_{Δ} , допущенного при завершении пригонки.

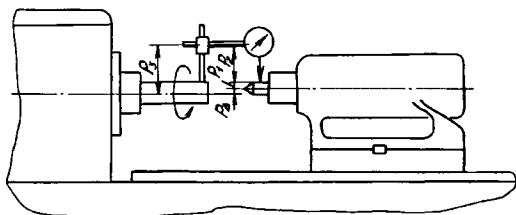


Рис. 10.3. Определение смещения оси заднего центра относительно оси вращения переднего центра

Рассмотренный пример показывает, насколько важны раскрытие и вдумчивая проработка размерных связей в проектируемом технологическом процессе сборки машины. От сделанного выбора метода достижения требуемой точности замыкающего звена, избрания пути и средств по его реализации зависит не только конечный результат — достигнутая точность, но и затраты труда, вложенного в его достижение.

Разработка последовательности сборки машины

Для установления последовательности сборки машины необходимо проанализировать ее конструкцию и выявить сборочные единицы, входящие в ее состав. В зависимости от сложности конструкции сборочные единицы подразделяют на комплекты, подузлы и узлы.

Под комплектом понимают сборочную единицу, к базирующей детали которой присоединены одна или несколько других деталей. Примерами комплектов могут служить резцедержатель (рис. 10.4) с ввернутыми в него винтами для закрепления резцов и с запрессованными втулками, служащими для фиксации резцедержателя в четырех положениях, а также верхняя часть суппорта с запрессованной в него осью, на которую насаживают резцедержатель.

Подузлом называют сборочную единицу, на базирующую деталь которой установлены несколько деталей и не менее одного комплекта. Примером подузла может быть верхняя часть суппорта с резцедержателем, смонтированным на нем и представляющим собой комплект.

Положив в основу дельнейшего усложнения сборочных единиц присоединение к базирующей детали, как минимум, одной предшествующей сборочной единицы, получим следующие более сложные сборочные единицы.

Узел первого порядка представляет собой базирующую деталь, на которой смонтирован хотя бы один подузел, несколько комплектов и деталей. Примером узла первого порядка может служить суппорт, на базирующей детали (салазках) которого смонтированы верхняя часть суппорта (подузел), ходовые винты и гайки, маховики с рукоятками и пр.

Следующей по сложности сборочной единицей является *узел второго порядка*. На его базирующей детали смонтированы один или несколько узлов первого порядка, подузлов, комплектов и деталей. Примером узла второго порядка может служить каретка токарного станка, к базирующей детали которой присоединен фартук, являющийся узлом первого порядка, поперечный суппорт и т.д. В машинах встречаются узлы и более высоких порядков.

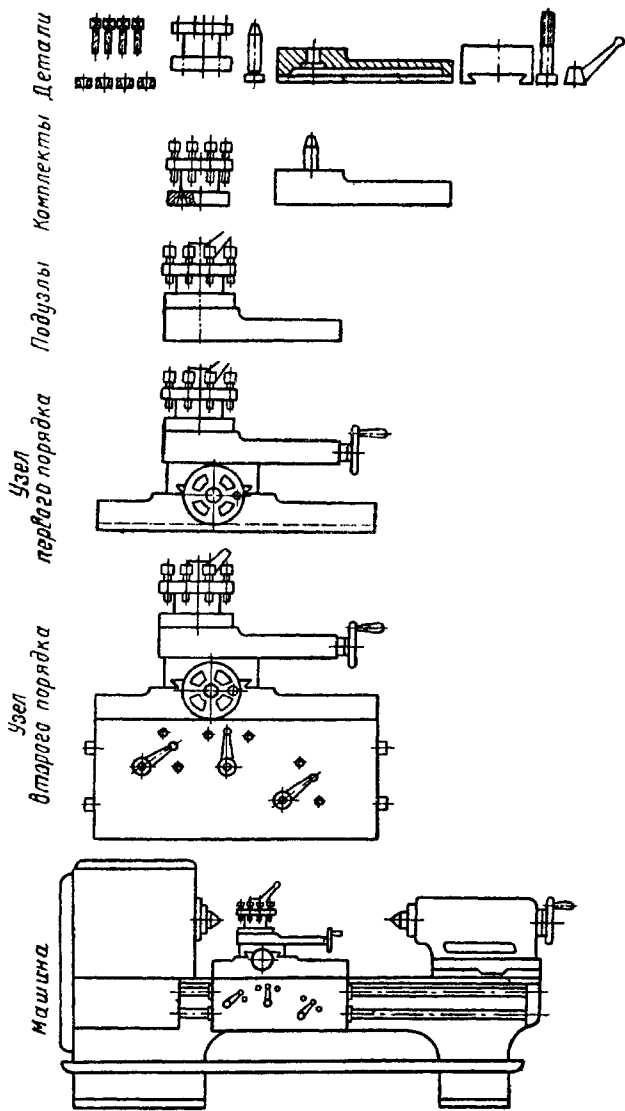


Рис. 10.4. Виды сборочных единиц

Последней наиболее сложной сборочной единицей является сама машина, на базирующей детали которой смонтированы не менее чем узел высшего порядка, узлы, подузлы, комплекты и отдельные детали. Примером машины может служить токарный станок.

Основой любой сборочной единицы является базирующая деталь. Ее функции сводятся не только к соединению одних сборочных единиц и деталей с другими, но и к обеспечению их относительного положения в машине.

Последовательность общей сборки машины зависит от ее конструктивных особенностей и избранных методов достижения требуемой точности.

Общую сборку машины нужно начинать с установки базирующей детали, роль которой обычно выполняют рама, станина, основание и т.п. Базирующую деталь устанавливают в положении, удобном для сборки. Если базирующая деталь недостаточно жесткая, ее устанавливают на жесткий сборочный стенд, сопровождая установку выверкой относительного положения ее вспомогательных баз. При подвижной сборке нежесткую базирующую деталь либо перемещают вместе с приспособлением, увеличивающим ее жесткость, либо производят выверку относительного положения ее вспомогательных баз на тех позициях, где это требуется по ходу процесса сборки.

С установки базирующей детали начинается сборка любой сборочной единицы, если только ее монтаж не осуществляется непосредственно в машине. После установки базирующей детали на нее последовательно устанавливают все сборочные единицы и детали.

Конструктивное разнообразие машин ограничивает возможность выдачи общих рекомендаций по установлению последовательности их сборки. Последовательность сборки машин разного назначения в основном зависит от специфики их конструкций. Однако существуют некоторые общие положения, которых надо придерживаться, разрабатывая технологию сборки конкретной машины.

1. Сборку следует начинать с формирования тех размерных цепей, с помощью которых в машине решаются наиболее ответственные задачи.

2. При наличии параллельно связанных размерных цепей их построение в машине следует начинать с установки деталей, размеры которых являются общими звеньями.

3. При сборке сборочной единицы последовательность установки деталей должна быть таковой, чтобы ранее смонтированные детали не мешали установке последующих деталей.

4. Необходимо стремиться к тому, чтобы в процессе сборки машины были минимальными частичные разборки сборочных единиц.

5. При достижении точности замыкающих звеньев размерных цепей методом пригонки пригоночные работы нужно выполнять вне собираемого объекта.

6. Последовательность сборки машины и ее сборочных единиц должна соответствовать избранному виду и форме организации производственного процесса.

Наметив последовательность сборки машины, следует проверить возможность ее соблюдения на реальной машине. Такая проверка может потребовать внесения в разработанную технологию существенных поправок.

Последовательность сборки машины удобно отображать графически в виде схемы сборки. Схема сборки является оперативным документом, по которому персонал сборочного цеха знакомится с последовательностью сборки новой машины, организует процесс сборки, ведет комплектование сборочных единиц и их подачу в надлежащей последовательности к местам сборки, а также помогает решать другие организационные и управленческие задачи.

Конструкция большинства машин не позволяет вести их сборку без частичной разборки сборочных единиц, поступающих на общую сборку в собранном виде, поэтому в схему сборки необходимо включать и все неизбежные по ходу технологического процесса разборки сборочных единиц.

Схема сборки и разборки должна быть наглядной и отражать последовательность сборки машины во времени. Этим требованиям в наибольшей мере отвечает схема сборки, построенная следующим образом.

Лист бумаги по горизонтали делят на несколько зон для деталей, комплектов, подузлов, узлов и машины. Каждому из элементов, составляющих машину, дают условное обозначение в виде геометрической фигуры. Например, детали могут быть обозначены прямоугольниками, комплекты квадратами и т.д. В фигуры вписывают номера деталей и сборочных единиц, присвоенные их чертежами. Отображение общей сборки машины так же, как и любой сборочной единицы, следует начинать с базирующей детали. Вертикальной линией базирующая деталь сносится в зону машины или сборочной единицы соответствующего типа. Затем в зоне деталей проставляют номера деталей первой сборочной единицы, входящей в состав машины, и вертикальными линиями их сносят на уровень отведенной для нее зоны. Далее теми же приемами показывают вхождение данной сборочной единицы, наряду с другими деталями и сборочными единицами, в состав более сложной сборочной единицы и т.д. Строя схему сборки, необходимо строго следить за правильностью отображения последовательности монтажа деталей и сборочных единиц во времени

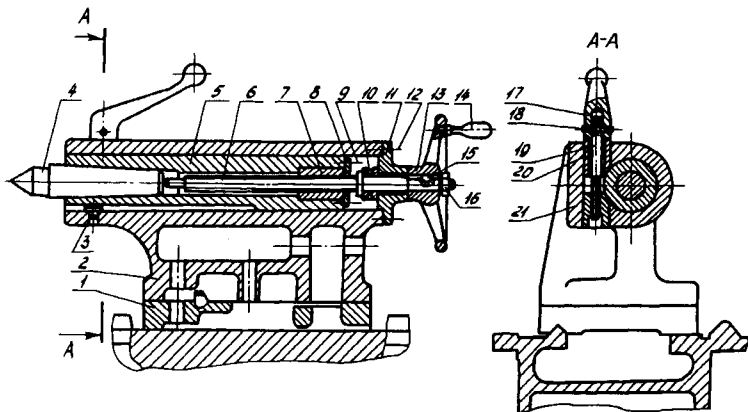


Рис. 10.6. Задняя бабка токарного станка:

1 — плита; 2 — корпус; 3 — шпонка; 4 — центр; 5 — пиноль; 6 — ходовой винт; 7 — гайка; 8 — кольцо; 9 — винт; 10 — подшипник; 11 — фланец; 12 — винт; 13 — маховик; 14 — рукоятка; 15 — шпонка; 16 — гайка; 17 — рукоятка; 18 — штифт; 19 — винт; 20, 21 — сухари

и помнить, что схема сборки, хотя и безмасштабный, но временной график, и ось времени направлена слева направо.

В качестве примера на рис. 10.5 дана схема общей сборки токарного станка. Местоположение условных обозначений и относительное смещение вертикальных линий отражают последовательность установки деталей и сборочных единиц в процессе сборки станка.

На рис. 10.6 изображена задняя бабка токарного станка, установленная на плите, а на рис. 10.7 приведена схема ее сборки. Сборку задней бабки начинают с пригонки плиты 1 по корпусу 2 задней бабки, составляющих комплект 1. Затем корпус снимают с плиты и

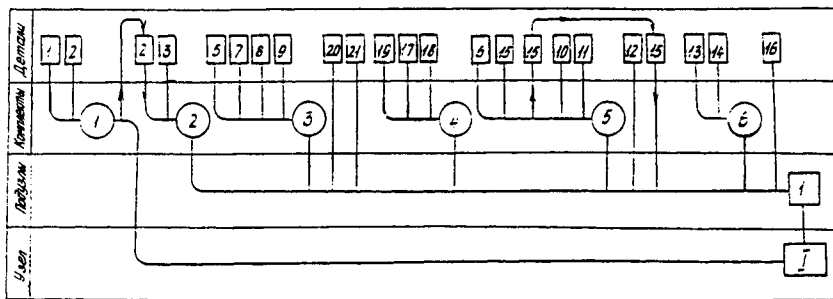


Рис. 10.7. Схема сборки задней бабки токарного станка

в него вставляют шпонку 3. В комплекте со шпонкой корпус 2 является базирующей деталью подузла 1. В него последовательно монтируются комплект 3 — пиноль, сухари 20 и 21, комплект 4 — винт 19 с рукояткой 17 и штифтом 18, комплект 5 — ходовой винт. Сборка комплекта 5 начинается с пригонки шпонки 15 по пазу в винте. Затем шпонку снимают и устанавливают на винте после того, как винт будет введен в пиноль и фланец 11 будет прикреплен к корпусу винтами 12. Завершается сборка задней бабки установкой комплекта 6 — маховика 13 с рукояткой 14 и гайки 16. После этого заднюю бабку устанавливают на плиту 1.

Содержание и последовательность выполнения технологического процесса сборки изделия, применяемые приспособления и инструменты, разряд работ, нормы времени и прочие сведения отражают в технологических документах: операционных и маршрутных картах, ведомостях операций и др. Требования к формам и заполнению технологических документов регламентированы ГОСТ 3.1118—82, ГОСТ 3.1119—83, ГОСТ 3.1121—84, ГОСТ 3.1407—86 и др.

Выбор средств облегчения труда и увеличения его производительности

На сборку машины приходится до 60 % общей трудоемкости ее изготовления. Поэтому облегчение труда сборщиков и повышение его производительности являются важнейшими задачами, которые приходится решать при разработке технологии сборки машины.

Средствами, облегчающими труд, должен быть охвачен весь комплекс работ, выполняемых при сборке машины: комплектование и транспортирование деталей и сборочных единиц к местам сборки, транспортирование объектов сборки, координирование с заданной точностью, соединение, фиксация и проверка достигнутого положения монтируемых деталей и сборочных единиц, регулирование, пригонка, испытания отдельных узлов и машины в целом, очистка, окраска и т.д.

Оборудование и технологическую оснастку для сборочного цеха выбирают с учетом особенностей собираемых машин, объема их выпуска, принятых вида и формы организации производственного процесса. Критерием экономичности избранных средств является себестоимость выполнения отдельных операций и процесса сборки машины в целом.

При изготовлении одинаковых машин единицами или в небольших количествах применяют главным образом универсальную технологическую оснастку и оборудование. С увеличением объема выпуска машин становится экономичным использование специальных техни-

ческих средств. Наконец, массовый выпуск машин позволяет осуществить комплексную механизацию и автоматизацию сборочных работ, обеспечивающих наиболее высокую производительность и избавляющих рабочих от тяжелого и однообразного труда.

Для доставки к рабочим местам деталей и сборочных единиц используют ручные тележки и электрокары, различного вида краны и конвейеры. Большие удобства создают конвейеры, оснащенные устройствами для адресования транспортируемых деталей и сборочных единиц со склада к рабочим местам в любые точки сборочного цеха. Объекты сборки от одного рабочего места к другому транспортируют с помощью тележек, кранов, цепных и других видов конвейеров.

Наибольшие трудности вызывают механизация и автоматизация работ, связанных с координированием деталей и сборочных единиц и их соединением с требуемой точностью. Допущенная погрешность относительного положения деталей, выходящая за пределы допуска, вызывает необходимость разборки соединения, а в случае неразборных соединений — порчу деталей. Операции и переходы, связанные с выполнением подобных работ, нуждаются в приспособлениях, устраняющих возможность возникновения отклонений в относительном положении соединяемых деталей.

Пригоночные работы требуют их оснащения шабровочными плитами, угольниками, приспособлениями для установки, закрепления и поворота пригоняемых деталей, шаберами, шлифовальными и притирочными устройствами и пр.

При выполнении технологического процесса сборки возникает необходимость систематической проверки качества машины и сборочных единиц. Измерениями сопровождаются процессы достижения точности замыкающих звеньев методами пригонки и регулирования. Однако необходимость проверки соответствия собранных сборочных единиц их служебному назначению возникает даже в тех случаях, когда используют методы взаимозаменяемости, так как в процессе сборки возникают погрешности, вызываемые упругими деформациями, сменой баз и другими причинами.

Все это говорит о необходимости разработки методов и средств для осуществления проверок. Требования к точности этих средств могут быть выдвинуты в результате расчета технологических размерных цепей, с помощью которых при сборке достигается требуемая точность замыкающих звеньев.

Трудоемкими и потому нуждающимися в механизации являются работы, связанные со сборкой резьбовых и прессовых соединений. Оснащение рабочих мест стационарными или подвесными винто-, гайко-, шпильковертами, по возможности многошпиндельными, не

только увеличивает производительность труда сборщиков, но и повышает качество резьбовых соединений. Установка на рабочих местах прессов при надлежащем их оснащении дает те же результаты.

Высшим уровнем технического оснащения процесса сборки являются автоматы и роботы. При автоматизации сборочных работ особо остро ощущается необходимость в комплексном подходе к решению этой задачи, так как автоматизация только отдельного вида работ часто не дает ожидаемого эффекта.

При разработке средств облегчения труда и повышения его производительности необходимо не только в полной мере использовать нормализованные и испытанные средства [18], но и изыскивать новые. Главным направлением в разработке новых средств является изыскание способов облегчения умственной деятельности человека при выполнении различных видов сборочных работ.

Нормирование, определение трудоемкости сборки, формирование операций

Заключительным этапом разработки технологического процесса сборки машины являются нормирование сборочных работ, определение трудоемкости сборки и компоновка операций из переходов.

Нормирование переходов процесса сборки ведется по формулам, приведенным в п. 8.3, и с использованием нормативов времени на слесарно-сборочные работы. Нормативы времени содержат нормы оперативного времени выполнения наиболее распространенных сборочных переходов. При подсчете штучного времени оперативное время дополняется временем обслуживания рабочего места и дополнительным временем в процентах от оперативного времени.

Установленные нормы времени на сборку отдельных сборочных единиц и машины в целом дают возможность определить трудоемкость их сборки как сумму затрат времени на выполнение отдельных переходов.

Затем необходимо определить число рабочих или бригад рабочих, нужных для сборки комплектов, подузлов, узлов и общей сборки машины. Необходимое число рабочих подсчитывают по формуле (8.3).

Знание трудоемкости переходов и потребного числа рабочих дает возможность объединить переходы и тем самым сформировать операции. Каждая операция должна представлять собой законченную часть технологического процесса, выполняемую рабочим или бригадой рабочих на отдельном рабочем месте. Компоновку переходов в операции необходимо вести с учетом избранных вида и формы организации производственного процесса сборки машины.

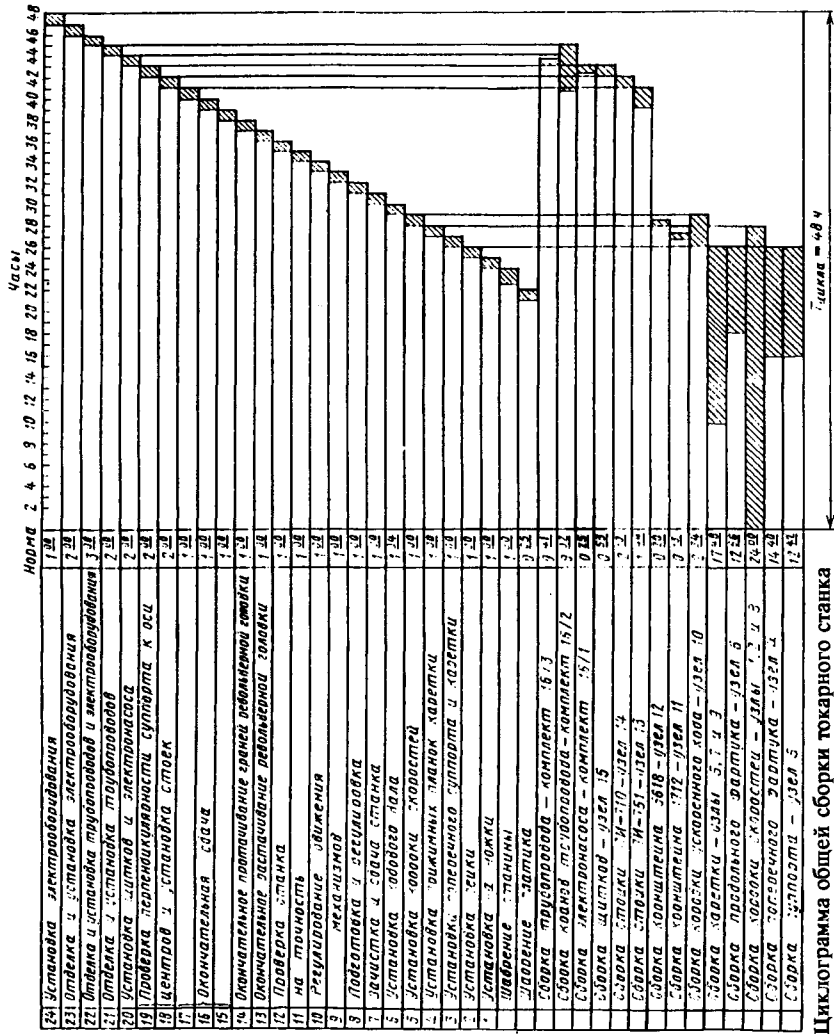


Рис. 10.8. Циклограмма общей сборки токарного станка

При непоточной стационарной сборке стремятся к тому, чтобы операция включала комплекс переходов, выполнение которых можно возложить на рабочего или бригаду рабочих, специализированных на выполнении данного вида работ. Часто операцию составляют переходы по законченной сборке какой-то сборочной единицы (комплекта, подузла или узла).

При непоточной подвижной и обеих формах поточной сборки длительность операций должна быть равной или кратной такту выпуска изделий. Если длительность операции в целое число раз превышает такт выпуска, то ее нужно выполнять в несколько потоков. Равенство или кратность длительности операций такту сборки может быть достигнуто путем частичных изменений последовательности сборки машины и ее сборочных единиц, перекомпоновки переходов в операциях, совмещения и расчленения операций, изыскания более производительных методов сборки, использования более производительного оборудования и технологической оснастки, а также изменения режимов работы оборудования.

При сборке изделий партиями должны быть учтены с помощью нормативов затраты времени на подготовку к сборке данной партии изделий, т.е. подготовительно-заключительное время. При определении времени, затрачиваемого на выполнение операции, подготовительно-заключительное время должно быть отнесено к объему партии и просуммировано со штучным временем. Учет подготовительно-заключительных времен потребует внесения некоторых коррекций как в трудоемкость отдельных операций, так и в трудоемкость сборки машины, установленных ранее.

Для определения длительности (цикла) сборки машин строят циклограмму (рис. 10.8). В избранном масштабе циклограмма отражает не только последовательность затрат времени на выполнение операций, но и совмещение во времени этих затрат. Циклограмма помогает вскрыть пути сокращения цикла сборки, что важно для уменьшения объема незавершенного производства.

Испытания машин

Машины и сборочные единицы после их сборки подвергают различного рода испытаниям. Целью испытаний является проверка качества машины, достигнутого в результате всего производственного процесса ее изготовления. В зависимости от вида, назначения и объема выпуска машины проходят испытания на холостом ходу, под нагрузкой, на производительность, жесткость, мощность и качество производимой продукции.

При испытании на холостом ходу проверяют правильность работы органов управления и механизмов машины, надежность блокировки и безотказность работы автоматических устройств. Вместе с тем проверяют соблюдение норм работы подшипников, зубчатых колес и других ответственных элементов конструкции машины.

Испытания под нагрузкой должны выявить качество работы машины в производственных условиях. Для этого создают условия, близкие к условиям эксплуатации машины, а испытания ведут на форсированных режимах.

Испытаниям на производительность подвергают обычно машины специального назначения и опытные образцы с тем, чтобы выявить соответствие машины по этому показателю требованиям заказа.

На жесткость испытывают главным образом станки. Нормы жесткости и методы испытания широкого круга станков стандартизованы.

Испытаниям на мощность подвергают все машины при единичном производстве и все или выборочно машины, изготавливаемые серийно. При испытании с помощью специальных тормозных устройств машине сообщаются максимальные силы и моменты сил, которые могут возникнуть при эксплуатации машины.

Машины производящие, сортирующие, измеряющие проверяют на качество производимой продукции. О качестве машины судят по результатам ее действия: точности изготовленных деталей, точности сортировки, контроля и т.п. Для машин, выпускаемых в больших количествах, порядок испытаний, образцы и требования к качеству продукции регламентированы государственными стандартами. Для оригинальных машин программу и режимы испытаний разрабатывают с учетом их назначения, конструкции и требований к качеству продукции.

Для испытания машин и сборочных единиц средних размеров и массы создают специальные испытательные стенды. Тяжелые, больших габаритных размеров машины, такие, как паротурбины, тяжелые станки, дизели, испытывают на сборочных стендах, оснащенных всем необходимым.

10.3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Задача разработки технологического процесса изготовления детали заключается в нахождении для данных производственных условий оптимального варианта перехода от полуфабриката, поставляемого на машиностроительный завод, к готовой детали. Выбранный

вариант должен обеспечивать требуемое качество детали при наименьшей ее себестоимости.

Технологический процесс изготовления детали рекомендуется разрабатывать в следующей последовательности:

1) изучить по чертежам служебное назначение детали и проанализировать соответствие ему технических требований и норм точности;

2) выявить число деталей, подлежащих изготовлению в единицу времени и по неизменяемому чертежу, наметить вид и форму организации производственного процесса изготовления деталей;

3) выбрать полуфабрикат, из которого должна быть изготовлена деталь;

4) выбрать технологический процесс получения заготовки, если неэкономично или физически невозможно изготавливать деталь непосредственно из полуфабриката;

5) обосновать выбор технологических баз и установить последовательность обработки поверхностей заготовки;

6) выбрать способы обработки поверхностей заготовки и установить число переходов по обработке каждой поверхности исходя из требований к качеству детали;

7) рассчитать припуски и установить межпереходные размеры и допуски на отклонения всех показателей точности детали;

8) оформить чертеж заготовки;

9) выбрать режимы обработки, обеспечивающие требуемое качество детали и производительность;

10) пронормировать технологический процесс изготовления детали;

11) сформировать операции из переходов и выбрать оборудование для их осуществления;

12) выявить необходимую технологическую оснастку для выполнения каждой операции и разработать требования, которым должен отвечать каждый вид оснастки (приспособления для установки заготовки и режущего инструмента, режущий инструмент, измерительный инструмент и пр.);

13) разработать другие варианты технологического процесса изготовления детали, рассчитать их себестоимость и выбрать наиболее экономичный вариант;

14) оформить технологическую документацию;

15) разработать технические задания на конструирование нестандартного оборудования, приспособлений, режущего и измерительного инструмента.

При разработке технологического процесса изготовления детали используют чертежи сборочной единицы, в состав которой входит

деталь, чертежи самой детали, сведения о количественном выпуске деталей, стандарты на полуфабрикаты и заготовки, типовые и групповые технологические процессы, технологические характеристики оборудования и инструментов, различного рода справочную литературу, руководящие материалы, инструкции, нормативы.

Технологический процесс разрабатывают либо с привязкой к действующему, либо для создаваемого производства. В последнем случае технолог обладает большей свободой в принятии решений по построению технологического процесса и выбору средств для его осуществления.

Разработка технологического процесса требует глубоких знаний о свойствах материалов, об используемых для их обработки процессах и явлениях, сопровождающих изготовление деталей. Разрабатывая технологический процесс, технолог неукоснительно должен стремиться к обеспечению требуемого качества деталей, максимальной производительности процесса и минимальной себестоимости изготавливаемых деталей.

Изучение служебного назначения детали.

Анализ технических требований и норм точности

Разработка технологического процесса изготовления любой детали должна начинаться с глубокого изучения ее служебного назначения и критического анализа технических требований и норм точности, заданных чертежом.

Служебное назначение детали может быть выявлено в результате изучения чертежей сборочной единицы (машины), в состав которой входит деталь. Выясняя назначение детали и ее роль в работе сборочной единицы, необходимо разобраться в функциях, выполняемых ее поверхностями. Напоминаем, что, с точки зрения выполняемых функций, поверхности детали могут быть исполнительными, основными или вспомогательными базами, либо свободными.

Анализ соответствия технических требований и норм точности служебному назначению детали следует вести в двух направлениях. Прежде всего должна быть сделана оценка технических требований и норм точности с качественной стороны. Эта оценка касается правильности формулировок технических требований, правильности размерных связей, установленных между поверхностями детали, наличия необходимых размеров, формы задания допусков, достаточности технических требований и норм точности и пр.

Проводя качественный анализ, в первую очередь необходимо обратить внимание на правильность задания относительного положения поверхностей в комплектах исполнительных поверхностей,

конструкторских баз, свободных поверхностей, используя положения, изложенные в п. 4.7.

Анализируя правильность простановки размеров в чертеже детали, следует руководствоваться положением о том, что на чертеже должны быть проставлены те размеры, которыми деталь непосредственно участвует в работе сборочной единицы или машины. Для нахождения этих размеров надо выявить задачи, в решении которых деталь участвует своими размерами, и вскрыть конструкторские размерные цепи, с помощью которых эти задачи решаются. В каждой конструкторской размерной цепи сборочной единицы один из размеров детали будет являться составляющим звеном. Анализ, проведенный предлагаемым способом, выявляет и недостающие размеры в чертежах детали.

При анализе технических требований и норм точности с качественной стороны нельзя упускать из виду правильность формулировок технических требований, формы задания норм точности, их достаточность. Нельзя, например, задавать в миллиметрах допуск, ограничивающий относительный поворот поверхностей детали, без указания длины, на которой допускается указанное отклонение.

Анализ технических требований и норм точности служебному назначению детали с количественной стороны должен подтвердить или опровергнуть правильность значений установленных норм и выявить их требуемые значения.

Обоснованность значений допусков, ограничивающих отклонения относительного поворота и формы поверхностей, составляющих комплекты баз, может быть проверена со стороны допускаемой погрешности установки: для основных баз — самой детали в изделии, для вспомогательных баз — присоединяемых к ней деталей.

Если анализируемый размер детали является составляющим звеном конструкторской размерной цепи, то, вскрыв ее, можно выяснить правомерность значения допуска, ограничивающего его отклонение согласно чертежу.

Если технологическим процессом сборки изделия предусмотрено достижение точности замыкающего звена одним из методов взаимозаменяемости, то, решив обратную задачу в отношении полей допусков и координат их середин, можно выяснить соответствие допуска на интересующий размер требованиям точности замыкающего звена. При отсутствии такого соответствия необходимо перераспределить допуск замыкающего звена между составляющими звеньями, добившись необходимого соответствия, и скорректировать значение допуска на анализируемый размер детали.

Если точность замыкающего звена намечено обеспечивать методами пригонки или регулирования, то целесообразность значения

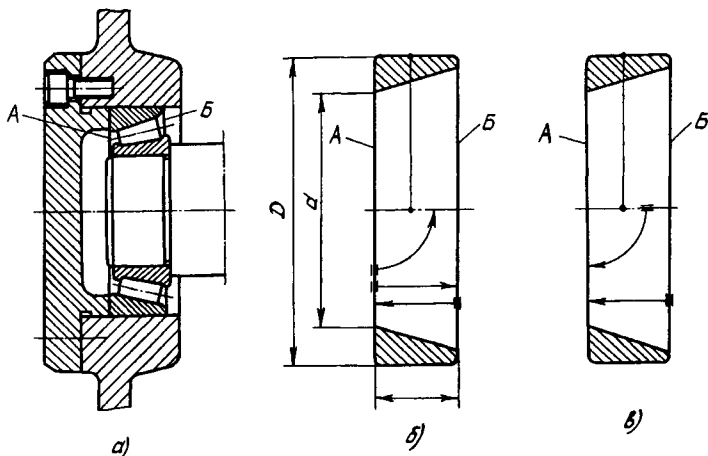


Рис. 10.9. Роликовый подшипник, требования к относительному положению поверхностей наружного кольца согласно рабочему чертежу и в соответствии с его служебным назначением

допуска, установленного на анализируемый размер детали, оценивается с экономических позиций.

О важности проведения анализа соответствия технических требований и норм точности служебному назначению детали можно судить по рассмотрению примера, взятого из практики машиностроения. При отладке технологического процесса изготовления подшипников качения в автоматизированном производстве долгое время не удалось достичь их требуемого качества. Как выяснилось впоследствии, причиной этого были неправильно сформулированные технические требования. Например, к наружному кольцу конического роликоподшипника были предъявлены, в числе прочих, следующие технические требования: 1) торцовая поверхность A кольца должна быть перпендикулярна к оси цилиндрической наружной поверхности, допустимое отклонение $0,004$ мм; 2) отклонение от параллельности торцов A и B не должно превышать $0,02$ мм. На рис. 10.9, б показаны размеры и технические требования, заданные рабочим чертежом.

Анализируя служебное назначение кольца и функции, используемые его поверхностями, можно сделать вывод о том, что поверхность A и наружная цилиндрическая поверхность являются основными установочной и двойной опорной базами (рис. 10.9, а). В соответствии с правилами установления относительного положения

баз, составляющих комплект (см. п. 4.7), ось цилиндрической поверхности кольца должна быть перпендикулярна к поверхности *A*, а не наоборот.

Что касается относительного положения торцов *A* и *B*, то избранная форма задания технического требования внесла неопределенность в выбор начала отсчета. Поверхность *B* является свободной, и она должна быть параллельна поверхности *A* как основной установочной базе детали. Из того, как были сформулированы технические требования, можно прийти и к абсурдному заключению о том, что поверхность *A* должна быть одновременно перпендикулярна к оси цилиндрической поверхности и параллельна торцу *B*. Формулировки обоих технических требований имеют еще один недостаток: не указаны длины, к которым должны быть отнесены нормы отклонений от перпендикулярности и параллельности.

Недочеты в формулировках технических требований привели к неправильному базированию заготовок колец в процессе обработки, что стало причиной несогласованности в относительном положении поверхностей изготовленных колец. Технологический процесс удалось отладить лишь после того, как базирование колец на операциях было приведено в соответствие с техническими требованиями, изложенными следующим образом.

1. Ось наружной цилиндрической поверхности должна быть перпендикулярна к поверхности торца *A* (рис. 10.9, *в*); допустимое отклонение 0,004 мм на длине 20 мм.

2. Допустимое отклонение торцевой поверхности *B* от параллельности поверхности торца *A* не должно быть более 0,02 мм на диаметре кольца.

Новая редакция технических требований привела к перестройке автоматизированного производства: перепланировке оборудования, к конструированию и изготовлению новых приспособлений и пр.

Таким образом, критический анализ технических требований, норм точности и рабочих чертежей позволяет привести их в соответствие со служебным назначением детали. Это крайне необходимо сделать, приступая к разработке технологического процесса изготовления детали, чтобы избежать в дальнейшем переделок технологии, технологической оснастки и др.

Изучать и оценивать рабочие чертежи необходимо и с точки зрения технологичности конструкции детали. Отработку конструкции на технологичность ведут и на дальнейших этапах разработки технологического процесса. Все обнаруженные недочеты в чертежах должны быть своевременно устранены с согласия конструктора.

Выбор вида и формы организации производственного процесса изготовления деталей

Вид и форму организации производственного процесса изготовления деталей выбирают в соответствии с их количественным выпуском. Прежде всего необходимо выяснить возможность использования наиболее производительных вида и формы организации производственного процесса (непрерывного или переменного потока). Непрерывно-поточное производство можно организовать при условии, что технологическое оборудование будет полностью загружено изготовлением деталей одного наименования. В тех случаях, когда относительно небольшое число малотрудоемких деталей делают неэкономичным использование непрерывно-поточного производства, детали объединяют в группы по признакам близости служебного назначения, конструктивных форм, размеров, технических требований, материалов. Объединение деталей в группы позволяет использовать метод групповой технологии и организовать переменнo-поточное производство.

Там, где незначительное число одноименных деталей делает неэкономичным их изготовление поточными методами, остается возможность создания технологически замкнутых участков с использованием высокопроизводительного оборудования, технологической оснастки и применением метода групповой технологии.

В мелкосерийном и единичном производстве приходится организовывать участки, объединяющие оборудование со сходным служебным назначением.

Выбор полуфабриката и технологического процесса изготовления заготовок

Задачей разработчика технологического процесса на этом этапе является нахождение кратчайшего и экономичного пути превращения полуфабриката, производимого металлургической, химической и другими отраслями промышленности, в готовую деталь.

Для изготовления деталей машиностроительные заводы используют разнообразные виды прокатов черных и цветных металлов, стальные слитки, чугуны и алюминий в виде чушек, порошковые металлические материалы, гранулированные и порошковые пластические материалы и пр. При избранном конструктором материале детали возможны различные пути превращения полуфабриката в готовую деталь. Опыт показывает, чем короче будет путь такого превращения, тем более экономичным оказывается технологический процесс изготовления детали. Поэтому при разработке технологического процесса прежде всего необходимо оценить возможность изготовления детали непосредственно из полуфабриката.

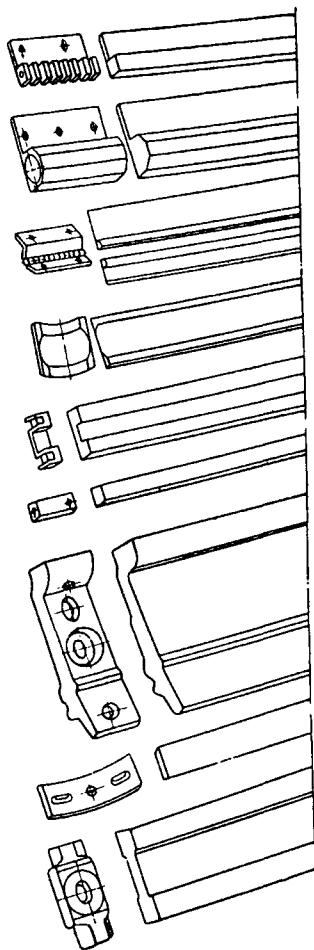


Рис. 10.10. Профильный прокат и изготовленные из него детали

Можно привести многочисленные примеры, когда полуфабрикаты для получения деталей используют в качестве исходного материала. Так, на токарных прутковых автоматах, револьверных станках детали изготовляют из круглого проката. Некоторые детали можно изготовлять из профильного проката, номенклатура которого довольно широка (рис. 10.10).

Болты и гайки изготовляют на холодно-высадочных автоматах, объединяемых часто в автоматические линии. Примером могут служить автоматические линии, показанные на рис. 10.11. Исходным полуфабрикатом для изготовления болтов является бунт проволоки. Первые три перехода выполняются на первом холодно-высадочном автомате, два последующие — на втором, шестой — на резьбонакатном автомате, последним переходом является термическая обработка.

Получать детали в готовом виде в ряде случаев удастся методами точного литья, пластического деформирования и прессованием металлических порошков. Те же результаты достигаются при изготовлении деталей из пластмасс с помощью литьевых машин.

Если для изготовления детали нельзя подобрать полуфабрикат, который можно сразу превратить в готовую деталь, то приходится сначала превращать полуфабрикат в заготовку, а затем — заготовку в готовую деталь. В таких случаях приходится выбирать полуфабрикат, обеспечивающий экономичное получение заготовки, и изыскивать способ получения заготовки, позволяющий превратить ее в деталь с наименьшими затратами труда и материала.

В современном машиностроении для получения заготовок деталей используют разнообразные технологические процессы и их сочетания: различные способы литья (в землю, в опоках, кокильное,

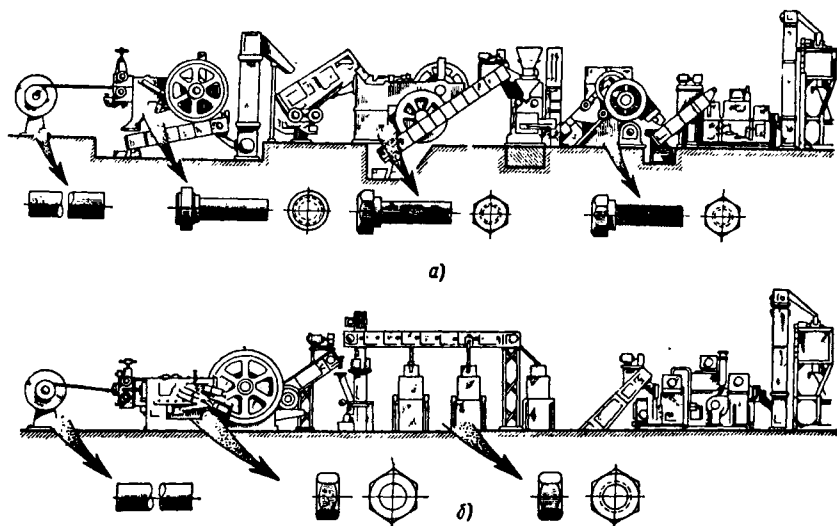


Рис. 10.11. Автоматические линии для изготовления болтов (а) и гаек (б)

центробежное, по выплавляемым моделям, в оболочковые формы, под давлением и др.), различные способы пластического деформирования металлов (свободная ковка, ковка в подкладных штампах, штамповка на молотах и прессах, периодический и поперечный прокат, высадка, выдавливание и др.), резка, сварка, комбинированные способы штамповки — сварки, литья — сварки, порошковая металлургия и пр.

Главными факторами, от которых зависит выбор технологического процесса получения заготовки, являются следующие:

конструктивные формы готовой детали;

материал, из которого должна быть изготовлена деталь;

размеры и масса заготовки;

количественный выпуск деталей в единицу времени, по неизменяемым чертежам и объемы партий;

стоимость полуфабриката, используемого для получения заготовки;

себестоимость заготовки, получаемой выбранным способом;

расход материала и себестоимость превращения заготовки в готовую деталь.

Критерием избираемого процесса получения заготовки служит ее себестоимость с учетом затрат на изготовление детали.

Основание выбора технологических баз и последовательности обработки поверхностей заготовки

В основе решений о базировании заготовки в процессе ее обработки лежит знание функций поверхностей детали и размерных связей между ними, установленных в соответствии со служебным назначением детали.

Технологические базы выбирают в два этапа. Сначала выбирают технологические базы, необходимые для получения наиболее ответственных размеров детали и используемые при обработке большинства поверхностей заготовки. Затем решают вопрос о базировании заготовки на первой или первых операциях технологического процесса. На каждом из этапов используют свои подходы к выбору технологических баз.

При выборе технологических баз для обработки большинства поверхностей заготовки прежде всего необходимо проанализировать размерные связи между поверхностями детали, требования к точности их относительного положения и выявить поверхности, относительно которых задано чертежом и наиболее строго лимитировано положение большинства других поверхностей детали. При этом могут встретиться различные варианты размерных связей между поверхностями детали.

1. Положение большинства поверхностей задано чертежом и наиболее строго лимитировано относительно либо основных баз детали, либо одного из комплектов вспомогательных баз. Стремясь к достижению требуемой точности линейных и угловых размеров кратчайшим путем, следует в этом случае в качестве технологических баз использовать поверхности детали, относительно которых задано положение большинства других ее поверхностей, если таковые удовлетворяют требованиям, предъявляемым к технологическим базам.

2. У детали отсутствуют размерные связи большинства ее поверхностей с основными базами или одним из комплектов вспомогательных баз. В этом случае по каждому размеру приходится решать, какому из методов его получения следует отдать предпочтение.

Чаще оказывается возможным использование координатного метода для получения большинства размеров. И только для получения особоточных размеров можно воспользоваться цепным методом, базируя заготовку непосредственно по поверхностям, от которых заданы эти размеры. При этом следует иметь в виду, что смена технологических баз сопровождается погрешностью установки заготовки, влияющей на точность получаемых размеров, а переход к другой схеме базирования потребует для ее реализации применения своего приспособления. Поэтому использование цепного метода

требует не только оценки ожидаемой точности выдерживаемых размеров, но и дополнительных затрат на изготовление приспособления.

При выборе технологических баз может оказаться, что вариант базирования заготовки, диктуемый размерными связями между поверхностями детали, осуществить затруднительно либо из-за малых габаритных размеров и протяженности поверхностей, которые следовало бы использовать в качестве технологических баз, либо из-за конструктивных форм детали, затрудняющих или делающих физически невозможным базирование по этим поверхностям.

В первом случае, для того чтобы избежать значительной погрешности установки заготовки, в качестве технологических баз могут быть использованы любые виды поверхностей детали, удовлетворяющие требованиям технологических баз, в том числе и предварительно обработанные свободные поверхности.

Во втором случае приходится создавать специальные поверхности в виде платиков, центровых отверстий и т.п., которые должны быть обработаны на первых операциях и использованы в качестве технологических баз при изготовлении детали.

Во всех рассмотренных случаях применение координатного метода для получения цепных размеров требует раскрытия технологических размерных цепей, связывающих отдельные операции или переходы, и перерасчета размеров и допусков. В каждой из таких размерных цепей цепной размер будет выступать как замыкающее звено, а составляющими звеньями будут являться два координатных размера, образующих цепной размер. Задача расчета допусков заключается в распределении поля допуска замыкающего звена между составляющими звеньями, т.е. между двумя координатными размерами, и установлении значений координат середин полей допусков, соответствующих координате середины поля допуска замыкающего звена. В результате такого расчета может оказаться, что в целях обеспечения требуемой точности того или иного цепного размера отклонение одного из координатных размеров, образующих размерную цепь, следует ограничить более жестким допуском, чем этого требует чертеж.

Выбор технологических баз для обработки большинства поверхностей заготовки указывает на то, с чего должна быть начата ее обработка. Логично, что на первой или первых операциях технологического процесса изготовления детали должны быть обработаны те поверхности заготовки, которые в дальнейшем должны служить ее технологическими базами. В связи с этим возникает задача о базировании заготовки на первой или первых операциях технологического процесса. Для того чтобы изложить подход к выбору технологических

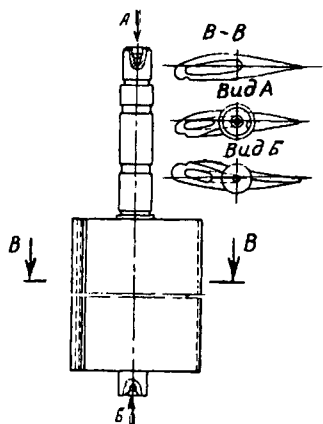


Рис. 10.12. Лопатка направляющего аппарата гидротурбины

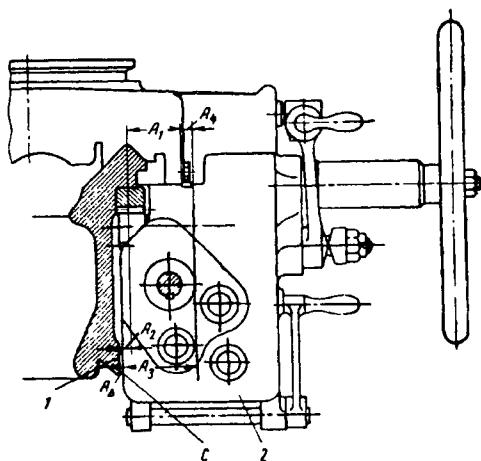


Рис. 10.13. Схема размерной цепи, определяющей зазор между фартуком 2 и станиной 1

баз на первой операции, необходимо разъяснить роль первой операции в технологическом процессе изготовления детали.

Роль и значение первой операции. На первой операции технологического процесса решаются две группы важных задач: 1) устанавливаются размерные связи между обрабатываемыми и неподлежащими обработке поверхностями детали; 2) происходит распределение припусков между поверхностями, подлежащими обработке. Результат решения любой задачи в каждой из групп зависит от выбранной схемы базирования заготовки на первой (первых) операции.

К задачам первой группы можно отнести получение расстояний и относительных поворотов поверхностей детали, определяющих:

положение необрабатываемых исполнительных поверхностей детали относительно ее основных баз; примером могут служить лопатки направляющего аппарата гидротурбины, у которых рабочие поверхности лишь зачищаются наждачным кругом для доведения шероховатости до требуемого уровня (рис. 10.12);

положение свободных необрабатываемых поверхностей относительно основных или вспомогательных баз детали, от которого зависит возможность монтажа в машине или сборки сборочной единицы; примерами могут быть размер A_3 корпуса фартука револьверного станка (рис. 10.13), влияющий на зазор A_4 между фартуком и стани-

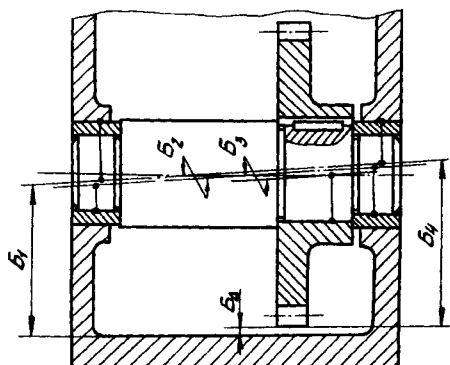


Рис. 10.14. Схема размерной цепи, определяющей возможность установки зубчатого колеса в редукторе при сборке

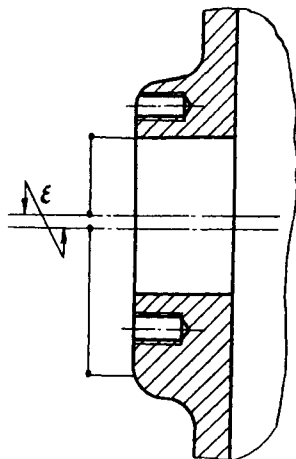


Рис. 10.15. Связь отверстий под опоры валов в корпусных деталях с контурами поверхностей бобышек

ной, а также размер B_1 (рис. 10.14) корпуса, от которого зависит возможность установки зубчатого колеса при сборке редуктора;

товарный вид деталей; например, неравномерность толщины полки у корпуса редуктора, несоосность ϵ отверстий под опоры валов с бобышками (рис. 10.15) портят внешний вид детали, к тому же смещение отверстий относительно центров бобышек может привести к тому, что отдельные резьбовые крепежные отверстия под фланцы окажутся на краях бобышек или даже выйдут за пределы их контуров;

равномерность толщины стенок, а следовательно, прочность детали.

Важность задач, связанных с распределением припусков на обработку, объясняется тем, что от равномерности припусков зависит качество изготавливаемых деталей и производительность процесса обработки заготовок.

Примером, иллюстрирующим первое положение, может служить технология изготовления станины токарного станка. Наиболее ответственными у станины являются поверхности направляющих. Станины обычно отливают направляющими вниз, чтобы получить на них наиболее плотный и однородный слой материала. Следовательно, для обеспечения износостойкости направляющих с них в процессе обра-

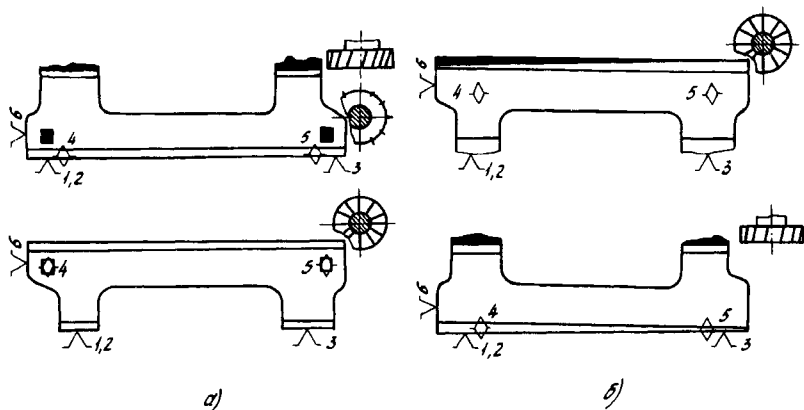


Рис. 10.16. Обеспечение равномерного припуска на поверхностях направляющих станин

ботки необходимо снять небольшой и равномерный слой материала. Для этого на первой операции в качестве установочной и направляющей технологических баз надо выбрать поверхности направляющих и удалить неравномерный припуск с поверхностей ножек и двух площадок, расположенных на вертикальной стенке станины. Используя обработанные поверхности ножек и площадок в качестве двух технологических баз, на второй операции следует обработать направляющие станины, удаляя с них равномерный слой материала (рис. 10.16, а). Если вести обработку направляющих и ножек в обратной последовательности, то равномерный припуск на направляющих создать не удастся (рис. 10.16, б).

Следствием неудачного решения на первой операции задач по распределению припусков могут быть оставшиеся "черноты" на поверхностях заготовки, подвергнутых обработке.

Нежелателен неравномерный припуск на поверхностях отверстий, пазов и т.п., обрабатываемых нежестким инструментом. Невысокая жесткость, например, расточных оправок вынуждает вести растачивание на заниженных режимах, увеличивать число рабочих ходов, что повышает трудоемкость обработки и увеличивает расходы на электроэнергию и амортизацию оборудования.

Все перечисленные выше задачи решаются на первой операции путем выбора технологических баз. Для того чтобы этот выбор был правильным, необходимо проанализировать несколько возможных вариантов базирования заготовки на первой операции и выявить вариант, при котором возможно удовлетворительное решение задач обеих групп. При этом необходимо иметь в виду, что в каждом

варианте базирования заготовки прямое решение будет иметь всего лишь одна задача из всей совокупности. Решение же остальных будет идти через размерные связи, образующиеся между операциями технологического процесса и размерами заготовки.

Для того чтобы проанализировать приемлемость того или иного варианта базирования заготовки на первой операции, необходимо:

1) составить список задач, решение которых будет зависеть от базирования заготовки на первой операции;

2) наметить возможные варианты базирования заготовки;

3) по каждому варианту вскрыть размерные связи, с помощью которых в технологическом процессе будет решаться каждая задача, вошедшая в список, воспользовавшись правилами выявления технологических размерных цепей, приведенными в п. 3.2;

4) рассчитать технологические размерные цепи и определить ожидаемую точность размеров, из которых получение каждого составляет самостоятельную задачу;

5) сопоставить результаты решения задач при намеченных вариантах базирования заготовки на первой операции и выбрать схему базирования, удовлетворяющую решению всех задач.

В ряде случаев выбор схемы базирования заготовки на первой операции можно сделать, оценив геометрическим путем погрешность ее установки на те или иные поверхности. Предположив наличие линейной ошибки a , возникающей при установке заготовки, ее можно поочередно отнести к размерам L , B и H (рис. 10.17, *a*),

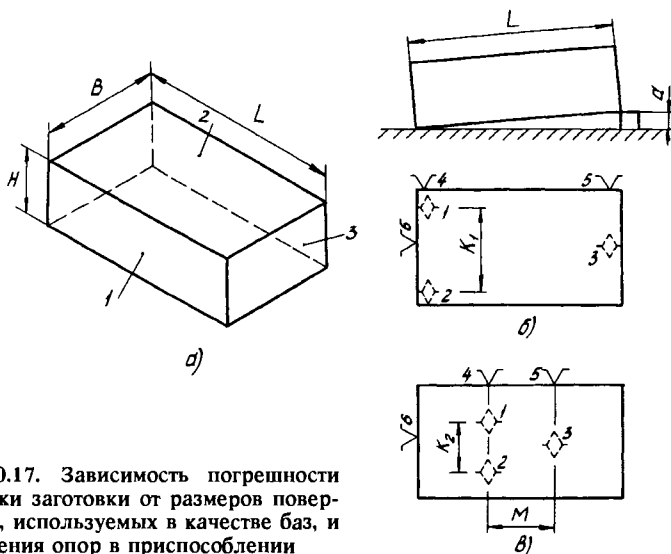


Рис. 10.17. Зависимость погрешности установки заготовки от размеров поверхностей, используемых в качестве баз, и размещения опор в приспособлении

чтобы выявить, какую из поверхностей целесообразнее использовать, например, в качестве установочной базы и как выгоднее разместить опоры в приспособлении. Очевидно, что при расположении опор по схеме, показанной на рис. 10.17, б, погрешность установки заготовки при том же значении линейной ошибки a будет меньше, чем при расположении опор по схеме, приведенной на рис. 10.17, в, так как $\operatorname{tg} \alpha_1 = a/L < \operatorname{tg} \alpha_2 = a/M$.

Изложенные подходы к выбору технологических баз на первой операции в полной мере относятся к случаю, когда имеется возможность полной обработки заготовки с одной установки. В качестве технологических баз в таких случаях используют свободные необрабатываемые поверхности. Размерные связи при этом будут возникать между размерами, полученными на переходах операций, и размерами заготовки.

На практике, при небольших объемах выпуска, задачи, связанные с базированием заготовки на первой операции, решают с помощью разметки. Технологические базы намечают накерниванием и в виде рисок, по которым заготовку выставляют на первой операции. Разметка подобна процессу выкраивания детали из заготовки. При значительных объемах выпуска детали задачи первой операции решают с помощью приспособлений. Учитывая роль первой операции в технологическом процессе, нетрудно представить ответственность разработчика приспособления за благополучное решение всего комплекса задач, зависящее от базирования заготовки на первой операции. Приступая к разработке приспособления, необходимо из всего состава задач выделить наиболее важную и на надлежащем уровне обеспечить решение и ее, и всех остальных задач.

Часто значение первой операции в технологическом процессе недооценивают, считая, что последующая обработка заготовки устранит все недочеты первой операции. Такой взгляд нередко приводит к снижению качества детали, потере производительности процесса изготовления детали и введению в технологический процесс дополнительных операций, необходимых для устранения ошибок, допущенных на первой операции.

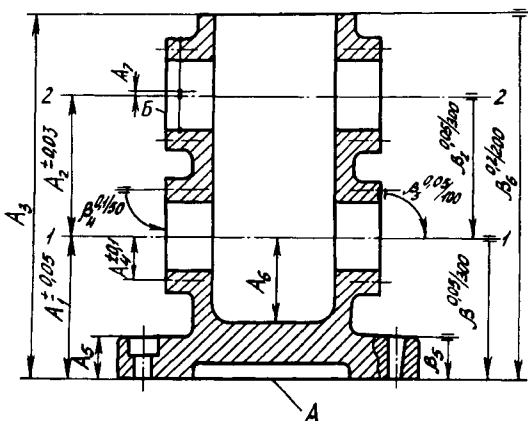
Поясним действия по выбору технологических баз на примере изготовления корпуса редуктора (рис. 10.18) в серийном производстве, ограничив рассмотрение лишь одним координатным направлением.

Корпус редуктора является базирующей деталью, предназначенной для придания относительного положения валам и смонтированным на них зубчатым колесам. Основными базами корпуса являются поверхность A и два отверстия под штифты в полках (рис. 10.18). Отверстия с осями 1—1, 2—2 под опоры валов служат вспомогатель-

Рис. 10.18. Корпус редуктора

ными базами. К числу вспомогательных баз относятся также торцовые поверхности *Б* бобышек, крепежные отверстия, поверхность под крышку. Остальные поверхности корпуса являются свободными.

Служебное назначение корпуса налагает следующие размерные связи между его поверхностями. Ось *1—1* от-



верстия под опоры выходного вала должна находиться на расстоянии *A₁* относительно основной установочной базы и быть ей параллельной (размер β_1). Положение оси *2—2* отверстия относительно оси *1—1* отверстия определяется размерами *A₂* и β_2 , участвующими в обеспечении правильности зацепления зубчатых колес, сидящих на валах. Торцы бобышек *Б* должны быть перпендикулярны (размер β_3) к осям отверстий, что важно для придания требуемого положения наружным кольцам подшипников в редукторе. Размеры *A₄* и β_4 определяют положение крепежных отверстий относительно отверстий под опоры валов и торцов бобышек и обеспечивают возможность крепления фланцев к корпусу.

Анализируя структуру размерных связей между поверхностями корпуса, можно сделать вывод о том, что прямую связь с основной установочной базой корпуса имеют лишь отдельные поверхности. Большинство же линейных и угловых размеров являются цепными.

Выбирая технологические базы для обработки большинства поверхностей заготовки корпуса и получения наиболее ответственных размеров, необходимо решить, какому из методов получения размеров следует отдать предпочтение в данном случае. Получение каждого цепного размера цепным методом требует своего комплекта технологических баз. Например, для обработки отверстия с осью *2—2* и получения цепным методом размеров *A₂* и β_2 потребовалось бы использовать в качестве одной из технологических баз отверстие с осью *1—1*, обработанное ранее при базировании заготовки по поверхности *A*. Обработка каждого из отверстий при разном базировании заготовки потребовала бы применения своего приспособления, а каждая установка заготовки сопровождалась бы своими

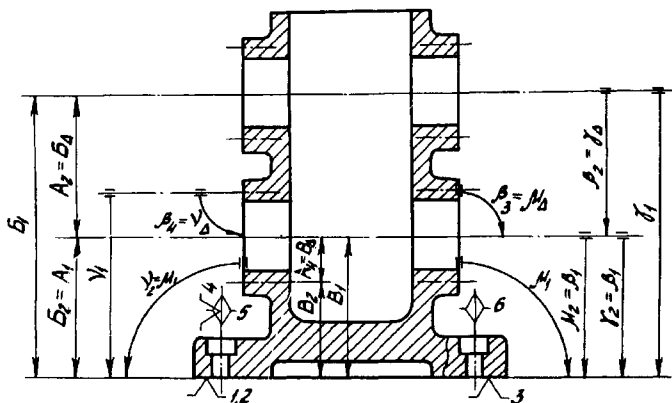


Рис. 10.19. Схема базирования заготовки корпуса на большинстве операций

погрешностями. К тому же погрешность установки заготовки по отверстию с осью 1—1 с применением оправки была бы значительной из-за сложности приспособления, а сама установка была бы трудоемкой.

Что касается размеров A_4 , β_3 , β_4 , то их получение цепным методом должно быть сразу же отвергнуто в виду сложности базирования заготовки по поверхностям, от которых они заданы.

Таким образом, анализ размерных связей и требований к точности размеров приводит к выводу о том, что применение цепного метода для получения цепных размеров в данном случае нецелесообразно как с точки зрения обеспечения требуемой точности детали, так и экономичности процесса ее изготовления. Поэтому предпочтение должно быть отдано координатному методу, а в качестве технологических баз следует использовать поверхность A как установочную базу и два крепежных отверстия в полке, расположенных по диагонали, как двойную опорную и опорную базы (рис. 10.19). Получение размеров координатным методом будет означать соблюдение в процессе изготовления детали принципа единства технологических баз.

Решив вопрос о базировании заготовки на большинстве операций, далее необходимо вскрыть технологические размерные цепи, с помощью которых будет обеспечиваться точность цепных размеров при получении их координатным методом и провести перерасчет размеров и допусков. Например, при выбранной схеме базирования заготовки размер A_2 будет получаться как замыкающее звено B_{Δ} размерной цепи B :

$$A_2 = B_{\Delta} = B_1 - B_2, \text{ где } B_2 = A_1.$$

В соответствии с этим номинальное значение размера

$$B_1 = A_1 + A_2.$$

Для того чтобы получить размер A_2 с требуемой точностью, необходимо его поле допуска распределить между составляющими звеньями B_1 и B_2 , например, в таком соотношении:

$$T_{A_2} = T_{B_{\Delta}} = T_{B_1} + T_{B_2} = 0,03 + 0,02 = 0,05 \text{ мм.}$$

Отсюда следует, что требования к точности размера A_2 должны быть повышены по сравнению с требованиями, заданными чертежом детали. Этого требует постанова в зависимость размера A_2 от размера A_1 выбором схемы базирования заготовки.

Координаты средин полей допусков должны быть установлены в соответствии со следующей зависимостью

$$\Delta_{0_{A_2}} = \Delta_{0_{B_{\Delta}}} = \Delta_{0_{B_1}} - \Delta_{0_{B_2}}$$

и могут быть приняты равными нулю.

Подобный перерасчет допусков должен быть сделан и для размеров A_4 , β_2 , β_3 , β_4 соответственно с технологическими размерными цепями, раскрывающими их формирование в процессе обработки заготовки.

Выбор технологических баз для обработки большинства поверхностей и получения наиболее ответственных размеров детали указывает на то, что обработка заготовки корпуса должна быть начата с поверхности A и крепежных отверстий, используемых в дальнейшем в качестве технологических баз.

Для решения вопроса о базировании заготовки на первой операции необходимо выявить задачи, решение которых будет зависеть от выбранной схемы базирования.

К задачам, касающимся связей обрабатываемых поверхностей с поверхностями, остающимися необработанными, следует отнести получение (см. рис. 10.18):

размеров A_5 и β_5 , определяющих толщину и равномерность толщины полки детали, а следовательно, прочность полки и товарный вид детали;

размера A_6 , от значения которого зависит возможность монтажа зубчатого колеса при сборке редуктора;

соосностей A_7 наружных контуров бобышек с осями 1—1 и 2—2 отверстий; отклонения размеров A_7 приводят к относительному смещению контуров фланцев и бобышек и ухудшению товарного вида детали.

Из задач, связанных с распределением припусков на обработку, наиболее важными являются задачи, касающиеся равномерности припусков в отверстиях с осями 1—1 и 2—2, которая обнаружится при обработке отверстий.

Для того чтобы пояснить подход к выбору технологических баз для первой операции, выберем две задачи и рассмотрим их решение при двух вариантах базирования заготовки. Пусть этими задачами будут получение размера A_5 и обеспечение равномерного припуска в отверстиях с осью 1—1.

Из возможных вариантов базирования заготовки на первой операции изберем в качестве первого варианта базирование по полке (установочная база), боковой поверхности полки (направляющая база) и торцу заготовки (опорная база) (рис. 10.20). По варианту II базирования комплект технологических баз будут составлять поверхность отверстия с осью 1—1 (двойная направляющая база), поверхность отверстия с осью 2—2 (опорная база), боковая поверхность полки (опорная база).

При варианте I базирования заготовки размер A_5 будет получаться как замыкающее звено B_Δ размерной цепи технологической системы, используемой для обработки поверхности и ожидаемое поле рассеяния его значений

$$\omega_{A_5} = \omega_{B_\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \omega_{B_i}, \quad (10.1)$$

где B_i — составляющие звенья размерной цепи технологической системы.

При базировании заготовки по варианту II размер A_5 будет получаться как замыкающее звено трехзвенной размерной цепи B , в которой B_1 — размер, непосредственно получаемый в результате обработки поверхности A , а B_2 — размер, принадлежащий заготовке. Если в чертеже заготовки размеры будут проставлены подобно чертежу детали, то размер B_2 явится замыкающим звеном M_Δ своей трехзвенной размерной цепи: $B_2 = M_\Delta = M_1 - M_2$. Поэтому ожидаемое поле рассеяния значений размера A_5 при варианте II базирования заготовки

$$\omega_{A_5} = \omega_{B_\Delta} = \omega_{B_1} + \omega_{B_2} = \omega_{B_1} + \omega_{M_1} + \omega_{M_2}. \quad (10.2)$$

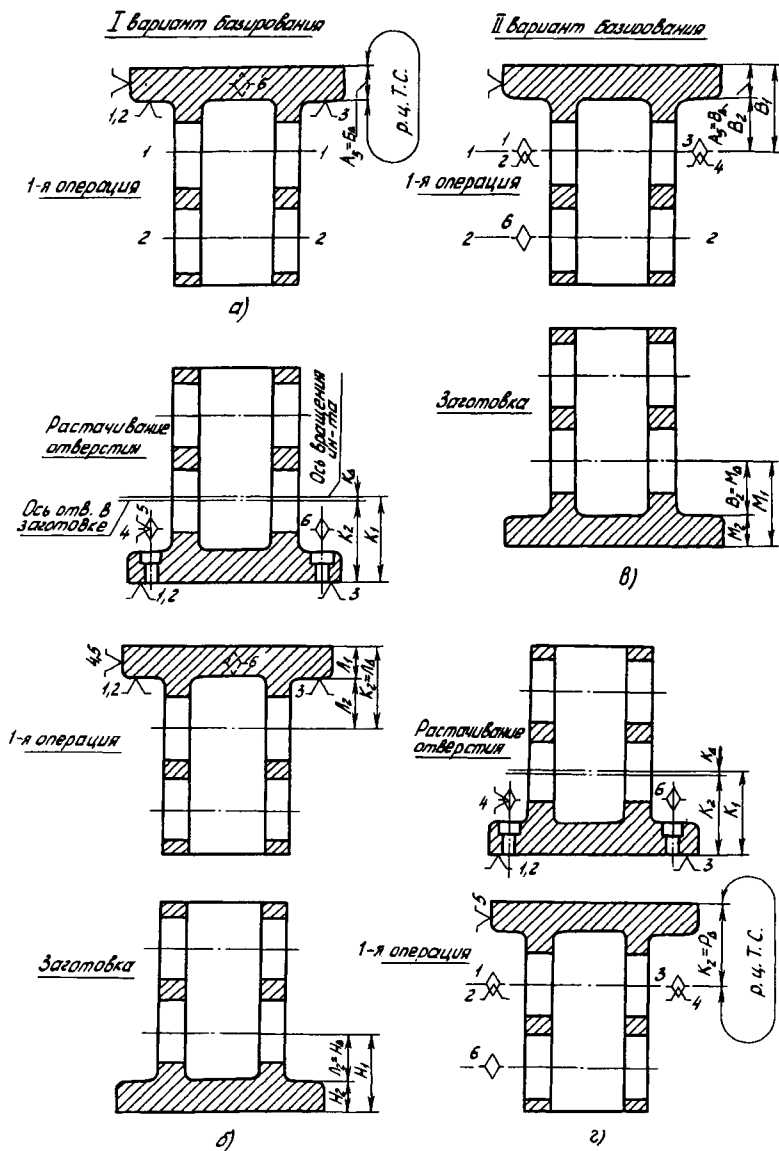


Рис. 10.20. Анализ двух вариантов базирования заготовки на первой операции для обеспечения точности размера A_5 (а, в) и равномерности припуска в отверстии с осью 1—1 (б, г)

Неравномерность припуска в отверстии $I-I$ в виде смещения оси отверстия в заготовке относительно оси вращения инструмента обнаружится при растачивании отверстия. Схема базирования заготовки предопределена выбором баз для обработки большинства ее поверхностей. Вскрывая размерные связи в направлении от операции растачивания отверстия к получению заготовки, будем иметь:

при первом варианте базирования заготовки на первой операции $K_{\Delta} = K_1 - K_2$, но так как $K_2 = L_{\Delta} = L_1 + L_2$, а $L_2 = H_{\Delta} = H_1 - H_2$, то

$$\omega_{K_{\Delta}} = \omega_{K_1} + \omega_{L_1} + \omega_{M_1} + \omega_{M_2}; \quad (10.3)$$

при варианте II базирования заготовки на первой операции $K_{\Delta} = K_1 - K_2$, где $K_2 = P_{\Delta}$ — замыкающее звено размерной цепи технологической системы, используемой для обработки поверхности A на первой операции. Другими словами, P_{Δ} — размер, непосредственно получаемый при обработке заготовки. Поэтому

$$\omega_{K_{\Delta}} = \omega_{K_1} + \omega_{K_2} = \omega_{K_1} + \omega_{P_{\Delta}}. \quad (10.4)$$

Анализируя зависимости (10.1) — (10.4) с качественной стороны, можно сделать вывод о том, что вариант I базирования заготовки обеспечит большую точность размера A_5 , но будет менее благоприятен в отношении равномерности припуска в отверстии с осью $I-I$. Наоборот, при варианте II базирования заготовки припуск в отверстии будет более равномерным, но точность размера A_5 окажется ниже. Для того чтобы отдать предпочтение тому или иному варианту базирования заготовки на первой операции, необходимо:

1) охватить анализом большее число задач, решение которых зависит от базирования заготовки на первой операции;

2) распространить анализ на три координатных направления;

3) оценить количественно возможные отклонения анализируемых размеров; данные о возможных значениях полей рассеяния отклонений составляющих звеньев размерных цепей могут быть получены из таблиц точности способов обработки [26] и нормативов точности заготовок;

4) учесть, что избираемый вариант базирования заготовки обеспечит прямое решение, а следовательно, и лучший результат, всего лишь одной задачи;

5) учесть степень сложности реализации схем базирования с помощью приспособлений и трудоемкость установки заготовки.

Отнеся эти положения к рассмотренному примеру и оценив преимущества и недостатки каждого из двух вариантов базирования заготовки на первой операции, следует признать, что вариант I базирования предпочтителен. Его преимущества перед вариантом II связаны главным образом с меньшей сложностью приспособления, необходимого для базирования и закрепления заготовки. К тому же ее базирование по варианту II не обеспечит равномерного припуска в отверстиях 2—2. Выбирая вариант I базирования заготовки и идя на неравномерность припусков в обоих отверстиях, потребуется увеличить припуски, чтобы избежать "черноты" в обработанных отверстиях и, возможно, увеличить число ходов.

При установлении последовательности обработки поверхностей заготовки приходится учитывать конструктивные особенности детали и требования к ее качеству, выбранные способы базирования заготовки в технологическом процессе и методы получения размеров детали, свойства заготовки (материал, масса, размеры, припуски на обработку), возможности имеющегося или избираемого технологического оборудования, необходимость в термической обработке, организацию производственного процесса и другие факторы.

Обработку заготовки обычно начинают с подготовки технологических баз. При этом первой в комплекте баз обрабатывают поверхность (или сочетание поверхностей), с помощью которой у заготовки в технологическом процессе будет отбираться большее число степеней свободы. Такой поверхностью может быть либо установочная, либо двойная направляющая база. Используя эту поверхность в качестве одной из технологических баз, далее обрабатывают другие поверхности заготовки, входящие в состав комплекта технологических баз. При этом необходимо иметь в виду, что базирование заготовки по необработанным поверхностям в направлении выдерживаемых размеров допустимо лишь один раз. В ряде случаев комплект технологических баз удается получить с одной установки заготовки на многоинструментальном станке. Это обеспечивает более высокую точность относительного положения поверхностей, составляющих комплект баз.

Обычно в начале технологического процесса изготовления детали стремятся удалить с заготовки наибольшие припуски. К этому побуждает необходимость создать лучшие условия для перераспределения остаточных напряжений в заготовке и вскрыть возможные дефекты, например, в литье — раковины, пустоты и др., на ранней стадии ее обработки. Для снятия с заготовки больших припусков обычно применяют мощные и относительно невысокой точности станки.

Высокие требования к точности формы, размеров и относительного положения поверхностей детали вынуждают вести обработку заго-

товки в несколько этапов и применять различные способы обработки. В отдельных случаях предварительную и окончательную обработку поверхностей удастся выполнить последовательно при одной установке заготовки. Однако чаще эти этапы разделяют, относя окончательную обработку поверхностей на конец технологического процесса.

В конце технологического процесса выносят обработку легкоповреждаемых поверхностей, например, наружных резьб, уменьшая риск их повреждения при транспортировании, установке и складировании заготовок.

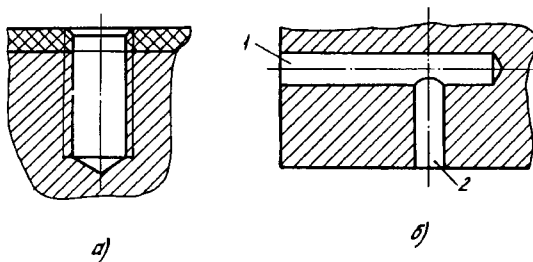
На последовательность обработки поверхностей заготовки влияют термическая и химико-термическая обработка. Неизбежное деформирование заготовки в результате такой обработки вынуждает предусматривать в технологическом процессе предварительную и окончательную обработку и начинать последнюю с "правки" технологических баз. Поверхности, исправление которых после термической обработки затруднительно (например, крепежные отверстия в корпусных деталях), обрабатывают после термической обработки заготовки. Некоторые виды термической обработки усложняют процесс механической обработки. Так, при цементации, если требуется науглеродить только отдельные поверхности заготовки, остальные защищают либо омеднением, либо дополнительным припуском, удаляемым после цементации, но до закалки.

При проектировании технологических процессов для действующих заводов приходится считаться с принятым видом и формой организации производственного процесса. Например, при группировании оборудования по признаку общности его служебного назначения необходимо стремиться к тому, чтобы маршрут следования заготовки через различные участки был бы наиболее коротким.

Устанавливая последовательность обработки поверхностей заготовки, необходимо учитывать технологические возможности имеющегося или избираемого оборудования. Использование возможностей концентрации и совмещения переходов повышает производительность процесса обработки и сокращает число установок заготовки в технологическом процессе. Последнее особо важно для тяжелого машиностроения, где всякая установка крупногабаритной заготовки трудоемка.

Налагает ограничения на последовательность обработки поверхностей и необходимость соблюдения определенной очередности в образовании различных конструктивных элементов детали. Например, крепежные резьбовые отверстия нужно обрабатывать после того, как будет окончательно обработана поверхность заготовки, с которой они сопряжены (рис. 10.21, а). В противном случае резьбы в отверстиях будут испорчены. Если деталь имеет пересекающиеся отверстия

Рис. 10.21. Примеры элементов конструкции детали, нуждающихся в соблюдении определенной последовательности их образования в процессе обработки



(рис. 10.21, б), первым должно быть обработано отверстие 1, а затем отверстие 2. Обработка отверстий в такой последовательности предупредит возможную поломку сверла. Решая вопрос об очередности обработки поверхностей заготовки, следует иметь в виду, что в паре сопряженных поверхностей в первую очередь должна быть обработана та, к которой примыкает другая поверхность детали.

Последовательность обработки поверхностей заготовки, намечаемая на данном этапе разработки технологического процесса, может быть изменена и уточнена в дальнейшем. Тем не менее, первое представление о маршруте технологического процесса крайне необходимо, так как оно будет составлять основу в дальнейших действиях по построению технологического процесса изготовления детали.

Выбор способов и обоснование числа переходов обработки поверхностей заготовки

Задачей этого этапа разработки технологического процесса изготовления детали является выбор таких способов и средств обработки ее поверхностей, которые позволили бы самым коротким и экономичным путем превратить заготовку в деталь и обеспечить при этом ее качество по всем показателям.

Идеальным решением этой задачи было бы превращение заготовки в деталь путем обработки каждой ее поверхности за один переход, если только сама заготовка не отвечает требованиям готовой детали. К сожалению, пока в подавляющем большинстве случаев для обеспечения требуемого качества детали необходима обработка поверхностей заготовки в несколько переходов.

На выбор способов обработки и необходимого количества переходов влияют: требования к качеству готовой детали; особенности и качество заготовки; число деталей, подлежащих изготовлению в единицу времени и по неизменяемому чертежу; технико-экономические показатели способов обработки.

Выбор способов и средств для обработки каждой поверхности заготовки следует начинать с нахождения такой технологической системы, которая позволяет экономичным путем достичь необходимые качество материала и геометрическую точность детали. Однако выбранная технологическая система в состоянии обеспечить требуемое качество детали только при определенных входных значениях характеристик заготовки.

Степень воздействия технологической системы на заготовку по показателю K в процессе ее обработки численно выражается передаточным отношением $\xi_K = \Delta K_d / \Delta K_z$ (см. п. 6.1), где ΔK_z и ΔK_d — отклонения показателя K соответственно на входе заготовки в технологическую систему и по прохождении ее.

Применив понятие о передаточном отношении к определению числа переходов по обработке отдельной поверхности заготовки, можно выявить не только их состав, но и требования к входным значениям характеристик качества заготовки на всех переходах.

Например, если под показателем K подразумевать выдерживаемый размер A детали, то отклонения размера A у заготовки допустимы в пределах поля допуска $T_{A_3}^1 = T_{A_d} / \xi_A^1$. Сопоставив значение $T_{A_3}^1$ с точностью T_{A_3} исходной заготовки, определяемой точностными возможностями способа ее получения, выбранного по экономическим соображениям, можно сделать вывод о возможности ее непосредственной обработки на выбранной технологической системе. Если окажется, что $T_{A_3}^1 < T_{A_3}$, то необходима предварительная обработка заготовки, способная обеспечить отклонение размера A в пределах $T_{A_3}^1$. Возможности избираемой для этого технологической системы характеризуются своим передаточным отношением ξ_A^2 . Следовательно, в нее должна поступать заготовка с отклонением размера A , находящимся в пределах поля допуска $T_{A_3}^2 = T_{A_3}^1 / \xi_A^2$. Сопоставление значения $T_{A_3}^2$ с T_{A_3} укажет, можно ли ограничиться двумя переходами при обработке данной поверхности заготовки или же необходимы дополнительные переходы, пока не будет соблюдено условие $T_{A_3} \leq T_{A_3}^i$. Изложенный подход к определению необходимого числа переходов по обработке отдельной поверхности заготовки схематично показан на рис. 10.22.

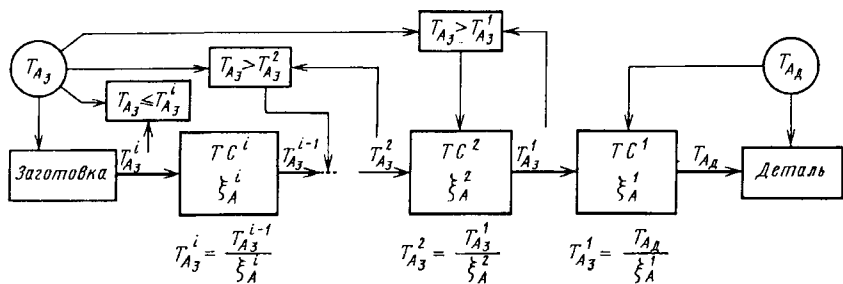


Рис. 10.22. Схема определения необходимого числа переходов по обработке поверхности заготовки

Безупречный в методологическом отношении, изложенный метод перехода от заготовки к готовой детали в разрабатываемом технологическом процессе уязвим с практической стороны. Дело в том, что прямых сведений о значениях передаточных отношений технологических систем пока не существует. Не выяснена и физическая сущность самого передаточного отношения.

Можно предполагать, что передаточное отношение технологической системы по любому показателю качества детали является случайной функцией, значение которой для данного момента времени является случайной величиной. Если принять такое толкование передаточного отношения и представлять технологическую систему в виде "черного" ящика (см. рис. 6.12), то ее преобразующие воздействия на заготовку должно отражать семейство случайных функций $\xi_a(t), \xi_b(t), \dots, \xi_q(t)$ (рис. 10.23). Каждая из них характеризует способность технологической системы осуществлять преобразование заготовки по показателям a, b, \dots, q качества детали. Характеристиками случайных функций служат их математические ожидания, дисперсии и корреляционные функции.

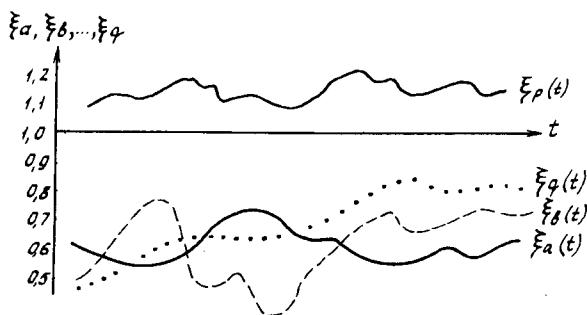


Рис. 10.23. Передаточные отношения технологической системы по различным показателям качества детали

Воздействия способа обработки и технологической системы на заготовку могут быть как улучшающими (уточняющими) показатели качества, так и ухудшающими их. В первом случае передаточные отношения $\xi_k < 1$, во втором — $\xi_k > 1$. Примером может быть термическая обработка заготовки, улучшающая свойства материала заготовки, но ухудшающая ее геометрическую точность. Разнонаправленность воздействий можно наблюдать и при механической обработке заготовок. Например, если высокоточную по всем геометрическим показателям заготовку вала обточить на обычном токарном станке, то произойдет ухудшение значений этих показателей.

Отсюда следует, что выбор способа обработки и технологической системы должен находиться в строгом соответствии с задачами, решаемыми на данном переходе. Делая выбор, необходимо стремиться к тому, чтобы добиться улучшения всех показателей качества детали. В противном случае, когда это невозможно, последующая обработка заготовки не должна нарушать ее качество, достигнутое на предшествующих переходах.

Было бы крайне желательным, чтобы характеристики передаточных отношений содержались бы в паспортах станков. Для этого каждый изготовленный станок должен подвергаться испытаниям, дополняющим состав ныне проводимых испытаний. В регламент же технического обслуживания станков должна быть включена их аттестация по передаточным отношениям. Очевидно, что со временем будут разработаны нормативные документы, содержащие требования к преобразующим свойствам технологических систем по различным показателям качества изготавливаемых деталей. Исследования в этой области актуальны и могут квалифицироваться как научное направление в технологии машиностроения.

Ориентировочное представление о значениях передаточных отношений технологических систем по некоторым показателям качества деталей можно получить в "Справочнике технолога-машиностроителя" [26] из таблиц точности обработки и качества поверхностей деталей.

На практике необходимое число переходов по обработке поверхности заготовки нередко назначают на основании накопленного опыта. Установлено, что в зависимости от требований к качеству по тем или иным показателям необходимо поверхность заготовки последовательно обработать несколькими способами. Например, для получения в корпусной детали из чугуна отверстия седьмого качества точности (отверстие в заготовке получено при литье) необходимо провести растачивание, зенкерование и развертывание отверстия. Тот же результат может быть достигнут при двукратном растачивании и развертывании отверстия.

Конечно, практический опыт очень ценен, однако далеко не всегда можно полагаться на него. От инженера-технолога требуется глубокое понимание сущности физических явлений, сопутствующих процессу обеспечения требуемого качества изготавливаемых деталей и осознанное принятие решений при выборе способов и числа переходов по обработке поверхностей заготовки.

При разработке технологического процесса для действующего производства выбор способа обработки поверхностей заготовки приходится ориентировать на имеющееся в наличии технологическое оборудование. В создаваемом производстве технолог располагает большей свободой.

При всех обстоятельствах желательно, чтобы возможно большее число поверхностей можно было бы обработать одним способом. Это позволит совместить во времени выполнение наибольшего числа переходов, уменьшить число операций, сократить трудоемкость и себестоимость обработки.

В связи с тем, что требуемое качество отдельной поверхности детали может быть достигнуто при обработке ее различными способами, следует сопоставить возможные варианты по производительности и экономичности. Для этого по каждому варианту необходимо определить трудоемкость и себестоимость обработки заготовки. Однако сделать это окажется возможным после выбора режимов обработки и проведения технического нормирования затрат времени на обработку. Поэтому решение о способах и числе переходов обработки поверхностей заготовки, принятое на данной стадии разработки технологического процесса, может быть скорректировано в дальнейшем.

Расчет припусков, межпереходных размеров и допусков

В технологии машиностроения дается двоякое толкование понятию "припуск". Согласно одному из них под припуском понимают слой материала, удаляемый в процессе обработки заготовки для достижения требуемого качества, размера и положения обработанной поверхности детали.

По другому определению под припуском понимают слой материала, подлежащий удалению в процессе обработки заготовки для достижения требуемого качества, размера и положения обработанной поверхности детали.

Различие в толкованиях припуска отражено на рис. 10.24. Это различие заключается в разном понимании максимального припуска z_{\max} . В первом случае (z_{\max} — слева) — это максимальный слой материала, который может быть удален с заготовки в процессе ее

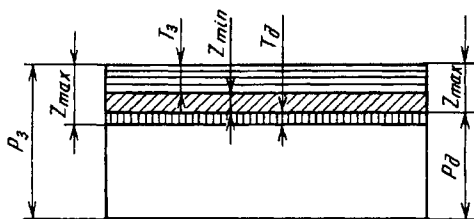


Рис. 10.24. Схематичное отображение различия в толкованиях понятия "припуск"

обработки. Он включает в себя минимальный припуск z_{min} , поле допуска T_D на выдерживаемый размер P_D

детали и поле допуска T_3 , ограничивающее отклонение размера P_3 заготовки, получаемого при обработке ее поверхности на предыдущем переходе. Во втором случае z_{max} (справа) — это сумма z_{min} и T_3 , т.е. слой материала, который следует удалить с заготовки.

Минимальный припуск на обработку необходим для устранения дефектов заготовки и обеспечения возможности перехода от заготовки к детали при наличии погрешности установки заготовки и того распределения припусков на поверхностях, подлежащих обработке, какое произошло в результате выбора технологических баз для первой операции.

Таким образом, припуск на обработку является своеобразным компенсатором, позволяющим на данном переходе устранить некоторые дефекты заготовки, поэтому понятие припуска как слоя материала, подлежащего удалению, в большей мере соответствует его назначению. Именно такого понятия мы и будем придерживаться в дальнейшем.

Минимальный припуск

$$z_{min} = Rz + T + \Pi + \Phi + Y + P,$$

где Rz — высота микронеровностей поверхности заготовки после обработки на предшествующем переходе; T — глубина дефектного поверхностного слоя, полученная на предшествующем переходе; Π — погрешность смещения и поворота поверхности заготовки относительно ее технологических баз; Φ — погрешность формы поверхности заготовки, допущенная при ее обработке на предшествующем переходе; Y — погрешность установки заготовки на данном переходе; P — отклонение положения поверхности заготовки, подлежащей обработке, относительно ее технологических баз, возникшее в результате распределения припусков при подготовке технологических баз на первых операциях.

Величина Rz зависит от способа, режимов и условий обработки заготовки на предшествующем переходе. При выполнении первого перехода значения Rz выбирают по исходной заготовке.

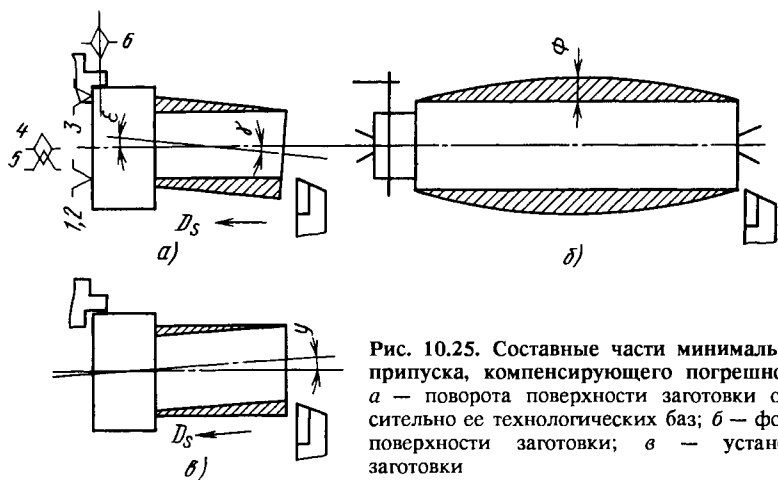


Рис. 10.25. Составные части минимального припуска, компенсирующего погрешности: а — поворота поверхности заготовки относительно ее технологических баз; б — формы поверхности заготовки; в — установки заготовки

Наиболее значимой глубиной T дефектного поверхностного слоя бывает у заготовок, полученных литьем и методами пластического деформирования. У отливок из серого чугуна поверхностный слой состоит из перлитной корки, имеющей нередко вкрапления формовочного песка. У стальных поковок и штампованных заготовок поверхностный слой оказывается обезуглероженным и должен быть полностью удален, чтобы не снизить прочность детали. При механической обработке заготовки в поверхностных слоях могут возникать трещины, прижоги, неблагоприятные остаточные напряжения. Все эти дефекты могут быть устранены лишь при наличии достаточного слоя материала на обрабатываемой поверхности заготовки.

Для компенсации погрешностей смещения ϵ и поворота γ (рис. 10.25, а) обрабатываемой поверхности заготовки относительно ее технологических баз необходимо включение в состав z_{\min} слоя Π материала, иначе на обработанной поверхности может остаться "чернота". По тем же причинам должны быть предусмотрены слой Φ и слой $У$ материала, позволяющие устранить отклонение формы поверхности заготовки (рис. 10.25, б) и погрешность ее установки в приспособлении (рис. 10.25, в).

Выше было показано, что одну из групп задач, решаемых на первых операциях, составляют задачи, связанные с распределением припусков на поверхностях заготовки, подлежащих обработке. Насколько удачным может быть это распределение, зависит от базирования заготовки при подготовке технологических баз для последующих операций. Сделанный выбор баз на первых операциях может

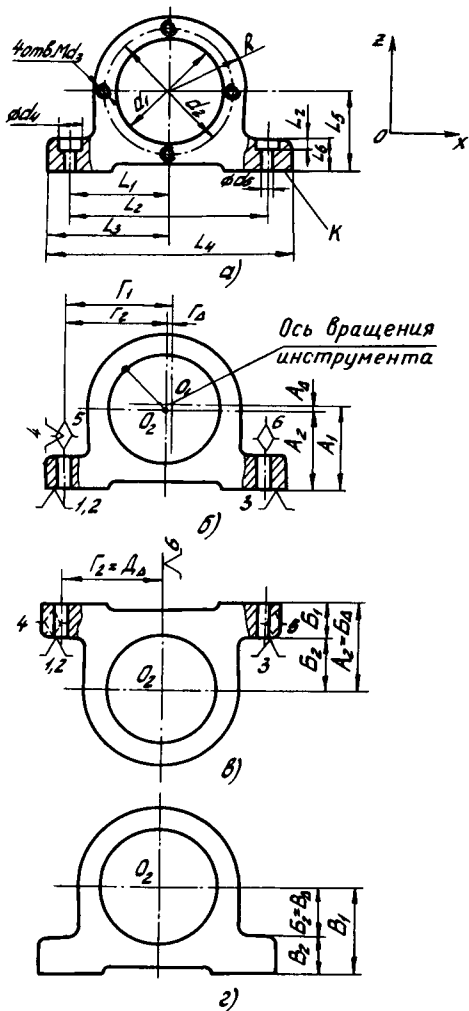


Рис. 10.26. Определение составляющей P минимального припуска: a — чертеж детали; b — растачивание отверстия; $в$ — первая операция: подготовка технологических баз; $г$ — заготовка

привести к недостаточному и неравномерному припуску на некоторых поверхностях заготовки, если не дополнить Z_{\min} слагаемым P . Для выявления требуемого значения P необходимо вскрыть и рассчитать технологические размерные цепи, отражающие формирование указанных отклонений. Поясним изложенное примером.

Задача: определить в направлении Z и X неравномерность припуска в отверстии диаметром d_1 корпуса электродвигателя (рис. 10.26, a) при базировании заготовки на первой операции по схеме, показанной на рис. 10.26, $в$.

Неравномерность припуска в отверстии корпуса выявится на операции растачивания отверстия (рис. 10.26, b) в результате смещений A_{Δ} и Γ_{Δ} центра O_2 отверстия в заготовке относительно центра O_1 вращения режущего инструмента.

В направлении Z смещение A_{Δ} будет являться замыкающим звеном размерной цепи $A_{\Delta} = A_1 - A_2$, в которой A_1 — выдерживаемый размер, а A_2 — размер, принадлежащий заготовке. Размер A_2 будет получен на первой операции, на которой будут обрабатывать поверхность K и крепежные отверстия,

используемые на расточной операции в качестве технологических баз заготовки.

На первой операции размер A_2 будет получаться как замыкающее звено B_{Δ} размерной цепи $A_2 = B_{\Delta} = B_1 + B_2$, в которой B_1 — размер, выдерживаемый от технологической базы; B_2 — размер, принадлежащий заготовке и получаемый при литье, согласно протановке размеров на чертеже заготовки $B_2 = B_{\Delta} - B_1 - B_2$.

Таким образом, относительное смещение центров O_1 и O_2

$$A_{\Delta} = A_1 - A_2 = A_1 - B_1 - B_2 = A_1 - B_1 - B_1 + B_2.$$

Следовательно, $\omega_{A_\Delta} = \omega_{A_1} + \omega_{B_1} + \omega_{B_2} + \omega_{B_2}$ и $\Delta_{\omega_{A_\Delta}} = \Delta_{\omega_{A_1}} - \Delta_{\omega_{B_1}} - \Delta_{\omega_{B_2}} + \Delta_{\omega_{B_2}}$.

Если считать, что отклонения составляющих звеньев не превысят своих допусков, то можно ожидать, что

$$\omega_{A_\Delta} = 0,2 + 0,4 + 1,0 + 1,8 = 3,4 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\omega_{A_\Delta}} = 0 - (-0,2) - (-0,5) - 0,9 = -0,2 \text{ мм};$$

$$A_\Delta^{\text{нм}} = A_\Delta + \Delta_{\omega_{A_\Delta}} - \omega_{A_\Delta}/2 = 0 - 0,2 - 3,4/2 = -1,9 \text{ мм};$$

$$A_\Delta^{\text{пб}} = A_\Delta + \Delta_{\omega_{A_\Delta}} - \omega_{A_\Delta}/2 = 0 - 0,2 + 3,4/2 = 1,5 \text{ мм}.$$

Таким образом, для того чтобы припуск в отверстии в направлении Z был достаточным, необходимо при расчете $z_{\text{мин}}$ учесть отклонение $P = 1,9$ мм.

Аналогичным путем может быть найдено значение P и в направлении оси X :

$$r_\Delta = r_1 - r_2 = r_1 - D_\Delta;$$

$$\omega_{r_\Delta} = \omega_{r_1} + \omega_{D_\Delta} = 0,2 + 0,5 = 0,7 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\omega_{r_\Delta}} = \Delta_{\omega_{r_1}} - \Delta_{\omega_{r_2}} = 0 - 0 = 0.$$

Следовательно, возможное смещение O_2 относительно O_1 в направлении оси X составит $\pm 0,35$ мм и будет перекрываться составляющей P минимального припуска в направлении оси Z .

При расчете минимально необходимого припуска на обработку следует всегда учитывать конкретные условия выполнения данного перехода, так как в зависимости от этого можно не учитывать некоторые составляющие. Например, величину P , связанную с распределением припусков на первой операции технологического процесса изготовления детали, необходимо учитывать только при определении $z_{\text{мин}}$ для первых переходов обработки поверхностей заготовки. При обработке отверстий плавающим инструментом нет необходимости учитывать слагаемые Π и $У$, так как такой инструмент, благодаря шарнирной связи с держателем, сам устанавливается относительно обрабатываемой поверхности. В ряде случаев погрешность $У$ установки заготовки, например при установке заготовки в центрах, оказывается столь незначительной, что свободно удаляется за счет других составляющих припуска и не нуждается в специальном слое материала. При суперфинишировании и полировании поверхности, когда уменьшается лишь значение параметра шероховатости поверхности, припуск определяется значением параметра шероховатости Rz поверхности, полученной на предшествующем переходе, и т.д.

Расчетно-аналитический метод определения припуска под обработку поверхности заготовки на данном переходе был разработан

В.М. Кованом [19]. Изложение метода и данные для расчета z_{\min} приведены в "Справочнике технолога" [26], в котором введены следующие обозначения: $T = h_{i-1}$; $\Pi + \Phi = \Delta_{\Sigma_{i-1}}$; $Y = \varepsilon_i$.

Формулы, рекомендуемые для расчета z_{\min} , имеют следующий вид:

припуск на сторону при обработке отдельной поверхности (одно-сторонний припуск) на i -м переходе

$$z_{i\min} = (Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i;$$

припуск на две стороны при параллельной обработке противоположных поверхностей (двусторонний припуск)

$$2z_{i\min} = 2[(Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i];$$

припуск под обработку наружных или внутренних поверхностей вращения

$$2z_{i\min} = 2 \left[(Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2} \right].$$

Пространственные отклонения $\Delta_{\Sigma_{i-1}}$ и погрешность установки ε_i являются векторными величинами, так как имеют не только численное значение, но и направление. Для плоских поверхностей эти векторы коллинеарны, и их сумма определяется арифметической суммой векторов. Для поверхностей вращения каждый из векторов может иметь любое направление, поэтому их следует суммировать по правилу квадратного корня.

Следует заметить, что в приведенных выше формулах не учтена составляющая P минимального припуска, имеющая на первых переходах обработки поверхностей заготовки существенное значение. Учет этой величины при определении z_{\min} необходим и обязателен, так как в противном случае не может быть гарантирована достаточность припуска на обработку.

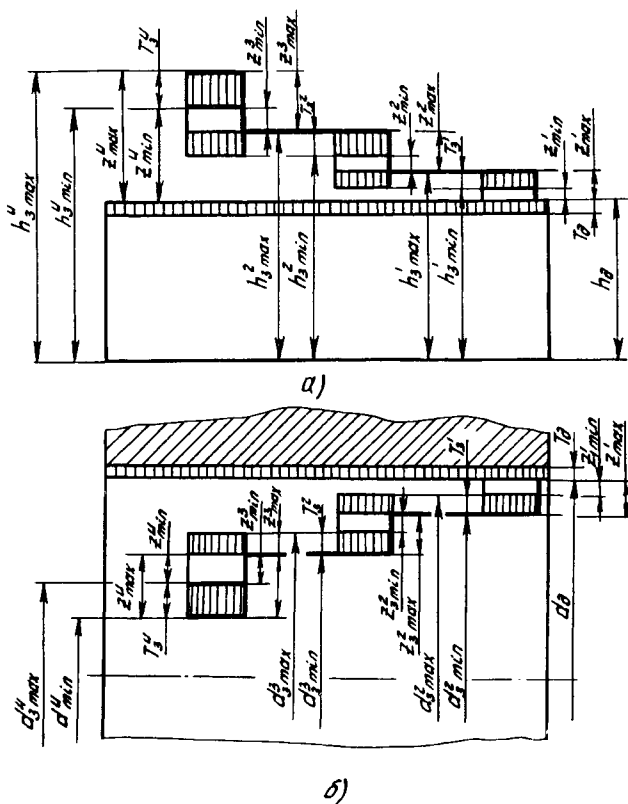
Зная число переходов по обработке поверхности заготовки и минимальные припуски, необходимые для выполнения каждого перехода, можно определить межпереходные размеры, размер исходной заготовки и значение общего припуска $z^И$ на обработку. Схема связей между межпереходными размерами, припусками и допусками приведена на рис. 10.27, а — при обработке наружной поверхности, а на рис. 10.27, б — при обработке отверстия в заготовке. Отсчет переходов ведется от готовой детали к исходной заготовке.

Рис. 10.27. Определение межпереходных размеров заготовки для охватывающих (а) и охватываемых (б) поверхностей:

h_d, d_d — выдерживаемые размеры деталей; T_d — поле допуска, ограничивающего их отклонения; $h_{3\min}^i, d_{3\min}^i$;

$h_{3\max}^i, d_{3\max}^i$ — минимальные и максимальные размеры заготовок, поступающих на i -й переход; T_3^i — поле допуска, ограничивающего их отклонения;

z_{\min}^i, z_{\max}^i — минимальный и максимальный припуски на обработку на i -м переходе; h_3^u, d_3^u — размеры и припуск исходных заготовок



В соответствии со схемой, изображенной на рис. 10.27, а,

$$h_{3\min}^1 = h_d + z_{\min}^1, \quad h_{3\max}^1 = h_d + z_{\max}^1;$$

$$h_{3\min}^2 = h_{3\max}^1 + z_{\min}^2, \quad h_{3\max}^2 = h_{3\max}^1 + z_{\max}^2;$$

$$h_{3\min}^3 = h_{3\max}^2 + z_{\min}^3, \quad h_{3\max}^3 = h_{3\max}^2 + z_{\max}^3.$$

Если третий переход рассматривать как переход, с которого начинается обработка исходной заготовки, то формулы, определяющие

предельные размеры исходной заготовки, можно представить в общем виде:

$$h_{3\min}^{\text{и}} = h_{\text{д}} + \sum_{i=1}^n z_{\text{max}}^i - T_3^{\text{и}};$$

$$h_{3\text{max}}^{\text{и}} = h_{\text{д}} + \sum_{i=1}^n z_{\text{max}}^i,$$

где n — число переходов по обработке поверхностей заготовки; $T_3^{\text{и}}$ — допуск, ограничивающий отклонения размера исходной заготовки.

Предельные значения припуска исходной заготовки:

$$z_{\min}^{\text{и}} = \sum_{i=1}^n z_{\text{max}}^i - T_3^{\text{и}}; \quad (10.5)$$

$$z_{\text{max}}^{\text{и}} = \sum_{i=1}^n z_{\text{max}}^i. \quad (10.6)$$

Аналогичны предельные значения диаметра отверстия исходной заготовки (рис. 10.27, б)

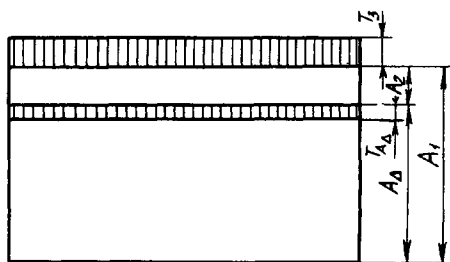
$$d_{3\min}^{\text{и}} = d_{\text{д}} - \sum_{i=1}^n z_{\text{max}}^i;$$

$$d_{3\text{max}}^{\text{и}} = d_{\text{д}} - \sum_{i=1}^n z_{\text{max}}^i - T_3^{\text{и}}.$$

Общий припуск на обработку отверстия определяют по формулам (10.5) и (10.6).

Происхождение допусков, ограничивающих отклонения межпереходных размеров, было объяснено выше. Допуск на размер заготовки, получаемый на предшествующем переходе, нужно назначать исходя из требуемой точности размера детали или заготовки, получаемого на данном переходе, с учетом точностных возможностей использо-

Рис. 10.28. Размерная цепь, отображающая преобразование размера заготовки в размер детали



мой технологической системы, характеризуемых ее передаточным отношением. Правильность такого подхода может быть еще раз подтверждена следующим путем.

Преобразование размера заготовки в размер, выдерживаемый на данном переходе, может быть отображено технологической размерной цепью A (рис. 10.28):

$$A_{\Delta} = A_1 - A_2,$$

где A_{Δ} — выдерживаемый размер; A_1 — размер заготовки; A_2 — слой материала, подлежащий удалению в процессе обработки заготовки, т.е. припуск.

Свободно решаемая в номиналах, эта размерная цепь не позволяет перейти по известным правилам от допуска замыкающего звена к допускам на составляющие звенья A_1 и A_2 . Нетрудно представить, что распределение поля допуска $T_{A_{\Delta}}$ между составляющими звеньями приведет к абсурдному результату: допуск на размер заготовки окажется более жестким, чем допуск на размер детали. Несуразность, на первый взгляд, такого решения размерной цепи в допусках объясняется ее специфическим свойством. В данном случае размерная цепь A отражает не механическую связь размеров, а преобразование размера заготовки в размер детали с помощью технологической системы, имеющей передаточное отношение. Это обстоятельство может быть учтено введением передаточных отношений ξ_1 и ξ_2 в уравнение допусков:

$$T_{A_{\Delta}} = \xi_1 T_{A_1} + \xi_2 T_{A_2}.$$

Поскольку поле допуска T_3 на предшествующий переход может быть одновременно отнесено и к размеру A_1 заготовки и к припуску A_2 на обработку, то логично считать передаточное отношение при одном из слагаемых (безразлично каком) равным нулю. Передаточное отношение при другом слагаемом будет являться передаточным отношением ξ технологической системы. Приняв $\xi_2 = 0$, а $\xi_1 = \xi$,

получим допуск, ограничивающий отклонение размера A_1 заготовки, как функцию T_{A_Δ} :

$$T_{A_1} = T_{A_\Delta} / \xi.$$

Строгое обоснование припусков на обработку и допусков на межпереходные размеры имеет существенное технико-экономическое значение для массового и крупносерийного производства. Завышенные припуски приводят к перерасходу материала, увеличению трудоемкости изготовления деталей, расхода инструментов и энергии и, в конечном счете, себестоимости изделий. Заниженные припуски не обеспечивают требуемого качества изготавливаемых деталей и создают неприемлемые условия для работы режущего инструмента по корке или окалине. При недостаточных припусках возрастает брак, что повышает себестоимость изделий.

В мелкосерийном и единичном производстве из-за значительной трудоемкости расчетно-аналитического метода межпереходные и общие припуски обычно устанавливают по нормативам. Допуски, ограничивающие отклонения межпереходных размеров, устанавливают с использованием таблиц средней экономической точности способов обработки.

После определения общих припусков на обработку каждой поверхности и размеров исходной заготовки может быть окончательно оформлен чертеж заготовки. При простановке размеров, определяющих относительное положение поверхностей заготовки, следует придерживаться правила, сформулированного Н.П. Мальковым. Все размеры должны быть проставлены от поверхностей заготовки, используемых в качестве технологических баз на первой операции. Такая простановка размеров обеспечит наиболее благоприятное распределение припусков между переходами, а следовательно, и наиболее экономичный путь превращения заготовки в деталь.

Выбор режимов обработки заготовки

Выбор режимов обусловлен необходимостью обеспечения требуемого качества изготавливаемых деталей при максимальном уровне производительности и минимальной себестоимости процесса обработки.

При назначении режимов следует учитывать требования к качеству детали, свойства материала заготовки; свойства материала и геометрические параметры режущей части инструмента; возможности выбранного технологического оборудования.

Обеспечение требуемого качества деталей является неизменным условием, налагающим ограничения на режимы обработки. Стремление к наибольшей производительности и наименьшей себестоимости обработки не должно идти в ущерб качеству изготавливаемых деталей.

Глубина, скорость резания, подача, геометрия режущего инструмента по-разному воздействуют на различные материалы. Однако для всех материалов остается общим влияние режимов на параметры шероховатости поверхности, степень и глубину наклепа, значение и знак остаточных напряжений, структуру материала в поверхностных слоях. Сила резания, как функция режимов обработки, вызывает упругие перемещения в технологической системе, являющиеся причиной отклонений формы, относительного поворота, расстояний и размеров поверхностей детали. Поэтому, выбирая режимы обработки, необходимо предвидеть результаты воздействия их на материал заготовки и исходить из требований к свойствам материала и геометрической точности детали.

Производительность процесса обработки зависит от глубины, скорости резания и подачи. Глубину резания устанавливают исходя из условий задачи, решаемой на данном переходе, она зависит в основном от припуска на обработку, но при этом необходимо учитывать мощность и жесткость технологической системы, а также свойства используемого инструмента. Припуск под обработку заготовки на каждом переходе рассчитывают или берут из нормативов. Если припуск превышает предельное значение для данной технологической системы, то его удаляют за несколько ходов. При этом глубина резания на каждом рабочем ходе может быть одинаковой или последовательно уменьшаться.

Скорость резания, допускаемая требованиями к качеству деталей, может быть ограничена периодом стойкости режущего инструмента. В основе выбора стойкости режущего инструмента лежат экономические соображения: стоимость инструмента, плановая норма сменной потребности в инструменте, затраты времени на замену износившегося инструмента и т.п. Эти факторы учитывают применительно к конкретным условиям. Например, при многоинструментальной обработке скорость резания выбирают с расчетом обеспечить работу инструментов на протяжении относительно длительного времени. В противном случае частые замены инструментов привели бы к большим простоям оборудования и потере производительности процесса обработки. Напротив, при одноинструментной обработке заготовок на дорогостоящем оборудовании, например, на многооперационных станках, и сравнительно небольшой стоимости инструмента высокую долю в себестоимости изделий составляют расходы на эксплуатацию и амортизацию оборудования. Поэтому главным становится получе-

ние большего объема продукции в единицу времени, что достигается за счет повышенных режимов обработки и большего расхода инструмента.

Выбор значения подачи связан с требованиями к качеству изготавливаемой детали, со свойствами способа обработки, используемого инструмента и материала заготовки. При предварительной (черновой) обработке выбирают большую подачу исходя из жесткости и прочности технологической системы, мощности привода станка, прочности инструмента. При окончательной (чистовой) обработке сдерживающими факторами в выборе подачи являются требования к качеству поверхностных слоев детали и ее геометрической точности.

Основным показателем экономичности выбранных режимов резания служит себестоимость выполнения технологического перехода обработки заготовки. При подсчете себестоимости (см. п. 1.8) слагаемым *I* должны быть учтены стоимость и ресурс инструмента за период стойкости, стоимость переточки и замены износившегося инструмента, число допускаемых переточек или поворотов многогранных пластинок. Помимо этого, от режимов обработки зависит время, затрачиваемое на выполнение перехода, а следовательно, стоимость труда рабочего с учетом косвенных цеховых расходов и расходы на содержание, эксплуатацию и амортизацию станка, приходящиеся на одну изготовленную деталь.

В различных производственных условиях выбор режимов обработки нередко приходится ставить в зависимость от конкретных обстоятельств. Таковые могут возникнуть при необходимости обеспечить:

максимальную производительность дорогостоящего оборудования и оборудования, сдерживающего в цехе выполнение производственной программы, или при выполнении срочного заказа;

максимальную стойкость дорогостоящего инструмента или инструментов на агрегатных станках и автоматических линиях, чтобы уменьшить их простой, связанные с заменой износившихся инструментов;

максимальный путь резания за период стойкости инструмента, что характерно для обработки поверхностей большой протяженности у крупногабаритных деталей или в случаях острого дефицита инструмента и др.

Как видно из изложенного, выбор оптимальных режимов обработки при решении конкретной технологической задачи в данных производственных условиях сопряжен с учетом сложных функциональных зависимостей между качеством изделия, технико-экономическими показателями процесса обработки и режимами. В конечном счете выбор и назначение режимов резания сводится к тому, чтобы из множества практически возможных вариантов выбрать один, наилучшим образом обеспечивающий решение технологической задачи.

Формирование операций из переходов, выбор оборудования и нормирование

В результате разработки технологического процесса на предыдущих этапах были установлены вид и форма организации производственного процесса, базирование заготовки в процессе ее обработки, состав и последовательность выполнения переходов, способы и режимы обработки каждой из поверхностей.

Таким образом, итогом проделанной работы является получение некоего множества переходов, из которых необходимо скомпоновать операции технологического процесса. Формирование операций попутно сопровождается нормированием с использованием методов, изложенных в п. 8.4.

Факторы, влияющие на формирование операций, можно подразделить на три группы. К первой группе относятся факторы, от которых зависит обеспечение качества детали. Вторую группу составляют факторы, определяющие физическую возможность объединения переходов в операцию. К третьей группе относятся организационно-экономические факторы.

К первой группе факторов, побуждающих разделение, или, наоборот, объединение переходов, относится необходимость:

членения технологического процесса на отдельные этапы: предварительную и окончательную обработку, выполнение которых необходимо на отдельных операциях;

смены технологических баз;

выполнение обработки нескольких поверхностей с одной установки заготовки с целью исключить влияние погрешности установки заготовки на точность относительного положения обрабатываемых поверхностей;

выделения в самостоятельные операции переходов, связанных с достижением особо высокой точности отдельных поверхностей детали и выполняемых способами, специально предназначенными для этого, и т.п.

К факторам второй группы можно отнести следующие:

невозможность объединения в операцию процессов обработки, отличающихся своей физической сущностью; например термическая, электроэрозионная обработка, сварка и др. не могут быть совмещены с механической обработкой;

свободный доступ к различным поверхностям при обработке заготовки; например, при изготовлении корпусных деталей обработка заготовки со стороны поверхностей, используемых в качестве технологических баз, оказывается, за редким исключением, недоступной.

Существенное влияние на формирование операций оказывает группа факторов организационно-экономического характера. Первым, что должно быть принято во внимание, это тип производства и избранная форма организации производственного процесса.

В массовом и крупносерийном, т.е. поточном производстве, формирование операций подчинено требованию: их длительность должна быть равной или кратной такту выпуска изделий. При изготовлении одинаковых деталей в больших объемах экономично использовать наиболее производительное оборудование (автоматы, агрегатные станки, автоматические линии), позволяющее обрабатывать заготовку с максимальной концентрацией переходов в одной операции.

На технологически замкнутых участках серийного производства применяют групповую обработку заготовок в целях наибольшей загрузки производительного оборудования. В этих случаях операции формируют путем включения в них переходов, с помощью которых решаются аналогичные задачи у разных деталей, отнесенных к одной группе.

В мелкосерийном и единичном производстве, где оборудование расставляют на участках по принципу общности его служебного назначения, в операцию обычно сводится максимальное число переходов, которые могут быть выполнены на одном рабочем месте с максимальным использованием технологических возможностей имеющегося на нем оборудования. Тем самым достигается наиболее полная загрузка оборудования и сокращаются пути транспортирования заготовок.

Разным оказывается подход к формированию операций для действующего и вновь создаваемого производства. Если технологический процесс разрабатывают для действующего завода, то при формировании операций приходится учитывать возможности имеющегося оборудования, его загрузку, перспективы модернизации и замены или пополнения его новым. При разработке технологического процесса для создаваемого завода, когда можно выбирать новое оборудование, задачу формирования операций решить проще. В этих случаях оборудование подбирают из производимого серийно станкостроительной промышленностью или заказывают специальное. Решение по выбору оборудования предваряют технико-экономическим расчетом.

На формирование операций оказывает влияние организация и планирование производства, стремление к уменьшению протяженности путей транспортирования и числа транспортных операций, межцеховая кооперация и другие факторы.

Объединение переходов в операции технологического процесса с учетом перечисленных факторов и сделанный выбор оборудования нельзя считать окончательным, так как далее необходимо решить вопрос о структуре каждой операции.

Ранее были рассмотрены структуры временных связей в операциях технологического процесса. Согласно изложенному в п. 8.6 основные переходы могут выполняться последовательно, параллельно-последовательно и параллельно. Вспомогательные переходы могут не совмещаться, частично и полностью совмещаться с основными переходами. Обработка может быть одноместной и многоместной, однопоточной и многопоточной. Выбор той или иной структуры операции предопределяется экономической целесообразностью использования в данных производственных условиях оборудования, позволяющего реализовать наивысшую производительность операции.

Последовательное выполнение основных и вспомогательных переходов характерно для мелкосерийного производства, хотя и здесь возможно применение многоместной обработки, параллельно-последовательного и параллельного способов выполнения основных переходов. Такие возможности создает, например, использование многошпиндельных универсальных продольно-фрезерных станков, многоинструментные наладки горизонтально-фрезерных станков, многошпиндельные головки к сверлильным станкам, комбинированные инструменты, различного рода устройства и приспособления, расширяющие технологические возможности универсальных станков.

По мере увеличения объема выпуска одинаковых деталей становится экономичным применение более производительного специального оборудования, позволяющего вести обработку параллельно-последовательным и параллельным способами и совмещать с основными переходами установку и съем заготовок, а также частично или полностью и другие вспомогательные переходы. Специальное оборудование проектируется для осуществления конкретного технологического процесса. Поэтому формирование и выбор структур операций становятся в этих случаях наиболее ответственными и проводятся с особой тщательностью.

Поиск наиболее рационального варианта построения операций в технологическом процессе сопровождается пересмотром ранее принятых решений в отношении способов и режимов обработки, перераспределением переходов между операциями, пересмотром норм времени на их выполнение. В результате проведения такой работы намечаются несколько равнозначных, в смысле достижения требуемого качества деталей, вариантов технологического процесса. Естественно, что из них путем надлежащих расчетов должен быть выбран вариант, при котором получается наиболее низкая себестоимость изготовления детали.

Изложенный метод разработки технологического процесса изготовления детали представляет собой первое приближение к решению сложной задачи, требующей творческого труда, глубоких знаний и

широкого кругозора. Наличие этих данных позволяет творчески решать эту задачу, продумывая весь комплекс вопросов и учитывая многочисленные факторы, от которых будут зависеть качество, себестоимость изготавливаемых деталей и производительность производственного процесса.

При разработке технологических процессов изготовления деталей следует широко использовать типовые технологические процессы, опыт заводов, справочную и периодическую литературу, различного рода нормативы и опыт людей, непосредственно занятых осуществлением технологических процессов. При этом не следует забывать о быстром развитии науки и техники, создании новых методов и средств осуществления технологических процессов, разработке новых технологий и совершенствовании существующих. Непрерывное движение вперед должно быть руководящим положением и основой разработки любого технологического процесса.

Оформление документации

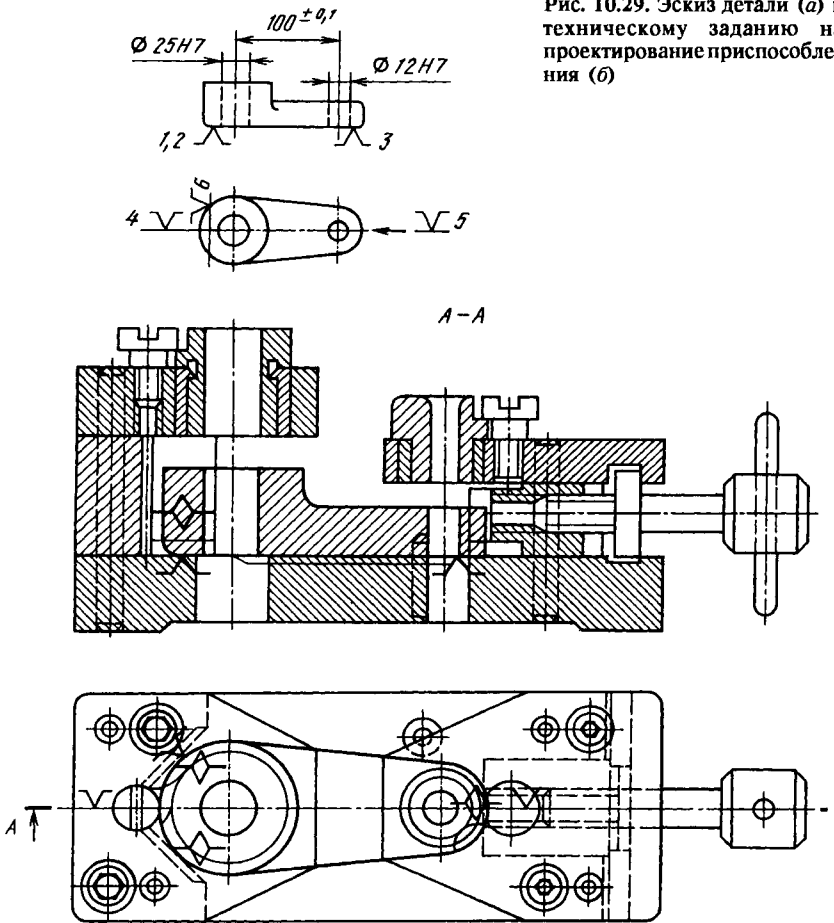
Разработанный технологический процесс оформляют документально в соответствии с требованиями ЕСТД. В зависимости от объема выпуска изделий документация имеет различные формы. Ею могут быть маршрутная и операционная карты, карта эскизов и др.

Назначение технологической документации заключается в том, чтобы дать исчерпывающую информацию исполнителям о строении технологического процесса, оборудовании, инструментах, режимах обработки, трудоемкости операций, разрядах работ и их расценках. Технологические карты, ведомости оснастки, комплектовочные карты и пр. являются оперативными документами в планировании и управлении производством.

Одновременно с разработкой технологического процесса разрабатывают технические задания на проектирование специального оборудования, приспособлений, режущего и измерительного инструмента, штампов. Техническое задание должно содержать подробное описание служебного назначения объекта проектирования.

Например, в задании на проектирование станочного приспособления должны быть указаны обрабатываемые поверхности и применяемый способ обработки, выдерживаемые размеры и допуски, ограничивающие их отклонения, схема базирования и закрепления заготовки. В дополнение к этому должны быть приведены сведения о виде, размерах и точности заготовки, об исполнительных поверхностях станка, на которые можно устанавливать приспособление, о типе силового привода в приспособлении, об используемых инструментах, о допустимых затратах времени на установку и съем заготовки.

Рис. 10.29. Эскиз детали (а) к техническому заданию на проектирование приспособления (б)



К словесному изложению технического задания должны быть приложены схемы и эскизы, поясняющие служебное назначение объекта проектирования. В качестве примера на рис. 10.29, а дан эскиз детали с указанием выдерживаемых размеров, схемы базирования и закрепления заготовки на операции обработки в ней двух отверстий. На рис. 10.29, б приведен общий вид приспособления со сменными кондукторными втулками для обработки этих отверстий.

При разработке форм и состава технологической документации необходимо иметь в виду, что стоимость ее разработки не должна

превышать стоимость изготовления деталей и что затраты времени на ее оформление не должны идти в ущерб творческой работе технологов.

Контрольные вопросы

1. Какие исходные данные необходимы для разработки технологического процесса изготовления машины?
2. В какой последовательности разрабатывают технологический процесс изготовления машины?
3. Почему разработку технологического процесса изготовления машины надо начинать с изучения ее служебного назначения и критического анализа соответствия ему технических требований и норм точности?
4. Что дает ознакомление с намечаемым объемом выпуска машин?
5. Какие цели преследует изучение рабочих чертежей машины?
6. Как ведется выбор методов достижения требуемой точности машины?
7. Как строится схема сборки машины?
8. Как формируются операции технологического процесса сборки машины из переходов?
9. Какие виды испытаний проходят изготовленные машины?
10. Какова последовательность разработки технологического процесса изготовления детали?
11. Как выявить соответствие технических требований и норм точности служебному назначению детали?
12. Как выбрать вид и форму организации производственного процесса изготовления детали?
13. Как выбрать технологический процесс изготовления заготовок?
14. Как выбирают технологические базы, необходимые для получения наиболее ответственных размеров детали и обработки большинства поверхностей заготовки?
15. Чем важна первая (первые) операция в технологическом процессе изготовления детали?
16. Как выбирают технологические базы для обработки заготовки на первой операции?
17. Как выявляют последовательность обработки поверхностной заготовки?
18. Чем руководствуются при выборе способов и определении числа переходов по обработке поверхностей заготовки?
19. Как рассчитывают припуски, межпереходные размеры и допуски, ограничивающие их отклонения?
20. Чем руководствуются при выборе режимов обработки?
21. Как ведут формирование операций из переходов? Что определяет выбор структуры временных связей на операции и технологического оборудования?
22. Что должно содержать задание на проектирование станочного приспособления?

1. Адаптивное управление станками / Под ред. Б.С. Балакшина. М.: Машиностроение, 1973. 688 с.
2. Активный контроль размеров / С.С. Волосов, М.Л. Шлейфер, В.Я. Рюмкин и др.; Под ред. С.С. Волосова. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.
3. Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожалова В.И. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Учеб. пособие в 2-х т. / Под ред. В.П. Смоленцева. М.: Высшая школа, 1983. Т. 1. 347 с.; Т. 2. 208 с.
4. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. ГОСТ 21495—76. Изд-во стандартов, 1982. 35 с.
5. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1969. 358 с.
6. Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения. В 2-х кн. М.: Машиностроение, 1982. Кн. 1. 283 с.; Кн. 2. 268 с.
7. Волчкевич Л.И. Комплексная автоматизация производства. М.: Машиностроение, 1983. 269 с.
8. Вороничев Н.М., Генин В.Б., Тартаковский Х.Э. Автоматические линии из агрегатных станков. М.: Машиностроение, 1983. 269 с.
9. Гибкие производственные комплексы / Под ред. П.Н. Белянина и В.А. Лещенко. М.: Машиностроение, 1984. 384 с.
10. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.
11. Гибкие производственные системы Японии / Пер. с яп. А.С. Семенова; Под ред. Л.Ю. Лещинского. М.: Машиностроение, 1987. 232 с.
12. Допуски и посадки: Справочник. В 2-х ч. / В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. Л.: Машиностроение, 1983. Ч. 1. 543 с.; Ч. 2. 448 с.
13. Марков Н.Н. Взаимозаменяемость и технические измерения: Учебник. М.: Изд-во стандартов, 1983. 288 с.
14. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности "Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты". Л.: Машиностроение, 1985. 512 с.
15. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений / Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Машиностроение, 1986. 384 с.
16. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства. В 2-х т. Л.: Машиностроение, 1983. 786 с.

17. Мясников В.А., Игнатъев М.Б., Покровский А.М. Программное управление оборудованием. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1984. 427 с.

18. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1980. 592 с.

19. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / Под ред. В.С. Корсакова. Изд. 3-е, доп. и перераб. М.: Машиностроение, 1977. 416 с.

20. Подураев В.Н. Технология физико-химических методов обработки. М.: Машиностроение, 1985. 264 с.

21. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов. М.: Наука, 1979. 496 с.

22. Пугачев В.С. Основы статистической теории автоматических систем. М.: Машиностроение, 1974. 400 с.

23. Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойков и др. М.: Машиностроение, 1982. 264 с.

24. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. М.: Машиностроение, 1979. 176 с.

25. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. Л.: Машиностроение, 1987. 846 с.

26. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. Т. 1. 656 с.; Т. 2. 496 с.

27. Справочник технолога по автоматическим линиям / Под ред. А.Г. Косиловой. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.

28. Технологичность конструкций изделий: Справочник / Под ред. Ю.Д. Адамирова. М.: Машиностроение, 1985. 368 с.

29. Технология машиностроения (специальная часть): Учебник для машиностроительных специальностей вузов / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов и др. М.: Машиностроение, 1986. 480 с.

30. Цепи размерные. Основные понятия, методы расчета линейных и угловых цепей: Методические указания РД 50-635-87 / И.М. Колесов, Е.И. Луцков, А.И. Кубарев и др. М.: Изд-во стандартов, 1987. 42 с.

31. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для вузов. Изд. 6-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1987. 352 с.

Введение		5
Глава 1. Основные положения и понятия в технологии машиностроения		11
1.1. Понятие о машине и ее служебном назначении		11
1.2. Качество и экономичность машины		13
1.3. Положения теории вероятностей и математической статистики, используемые в технологии машиностроения		16
1.4. Свойства и характеристики процесса		35
1.5. Понятие о точности		45
1.6. Производственный и технологический процессы изготовления машины		55
1.7. Понятие о производительности		61
1.8. Себестоимость машины		63
1.9. Типы производства и виды организации производственных процессов		64
Контрольные вопросы		66
Глава 2. Связи в машине и производственном процессе ее изготовления		68
2.1. Определение понятия "связь"		69
2.2. Аналитическое выражение связей. Смысл и направление решения прямой и обратной задачи		70
2.3. Ограничение отклонений показателей связей допусками		73
2.4. Свойства связей		75
Контрольные вопросы		77
Глава 3. Базирование и размерные цепи		78
3.1. Основы базирования		78
3.2. Теория размерных цепей		96
Контрольные вопросы		96
Глава 4. Построение системы множеств связей свойств материалов и размерных связей в процессе проектирования машины		141
4.1. Формулирование служебного назначения машины		142
4.2. Сущность задачи, решаемой при проектировании машины		146
4.3. Выбор видов связей и конструктивных форм исполнительных поверхностей машины		148
4.4. Переход от показателей служебного назначения машины к показателям связей ее исполнительных поверхностей		150

4.5.	Преобразование связей в процессе проектирования машины	154
4.6.	Этапы конструирования машины	158
4.7.	Разработка размерных связей в машине	162
4.8.	Обеспечение требуемой точности связей исполнительных поверхностей машины	169
	Контрольные вопросы	175
Глава 5.	Реализация размерных связей в машине в процессе сборки	176
5.1.	Конструкторские и технологические размерные цепи	177
5.2.	Причины отклонений в размерных связях, возникающих при сборке машины	184
5.3.	Проявление отклонений формы, относительного поворота поверхностей деталей и расстояния между ними	185
5.4.	Деформирование деталей в процессе сборки машины	225
5.5.	Погрешности измерений	235
5.6.	Выбор или разработка методов и средств оценки точности геометрических показателей машины	240
	Контрольные вопросы	245
Глава 6.	Формирование свойств материала и размерных связей в процессе изготовления детали	246
6.1.	Формирование свойств материала детали	246
6.2.	Достижение требуемой точности формы, размеров и относительного положения поверхностей детали в процессе изготовления	280
	Контрольные вопросы	391
Глава 7.	Информационное обеспечение производственного процесса	393
7.1.	Свойства технологической информации и информационные связи	393
7.2.	Технологическая задача и информационное обеспечение ее решения	396
7.3.	Структура информационных связей в производственном процессе	400
7.4.	Задачи технологов в разработке информационных процессов	407
	Контрольные вопросы	412
Глава 8.	Временные связи в производственном процессе	413
8.1.	Компоненты временных связей	413
8.2.	Виды и формы организации производственных процессов	416
8.3.	Планирование производственного процесса	423
8.4.	Основы технического нормирования	428
8.5.	Пути сокращения затрат времени на выполнение операции	432
8.6.	Структуры временных связей в операциях технологического процесса	441
8.7.	Обеспечение эффективности производственного процесса	450
8.8.	Условия труда и его производительность	460
8.9.	Автоматизация производства	462
	Контрольные вопросы	488
Глава 9.	Экономические связи в производственном процессе	489
9.1.	Сокращение расходов на материалы	489
9.2.	Сокращение расходов на заработную плату	495

9.3.	Сокращение расходов на содержание, амортизацию и эксплуатацию средств труда	499
9.4.	Сокращение накладных расходов	501
9.5.	Технологичность конструкции изделия	501
9.6.	Унификация конструкций машин	508
9.7.	Типизация технологических процессов	509
9.8.	Метод групповой обработки заготовок деталей	512
9.9.	Выбор наиболее экономичного варианта технологического процесса	514
9.10.	Экономические связи в производственном процессе	515
	Контрольные вопросы	518
Глава 10.	Основы разработки технологического процесса изготовления машины	519
10.1.	Последовательность разработки технологического процесса изготовления машины	520
10.2.	Разработка технологического процесса сборки машины	524
10.3.	Разработка технологических процессов изготовления деталей	541
	Контрольные вопросы	586
Список литературы	587

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

КОЛЕСОВ Игорь Михайлович

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Редактор *Н.П. Гурвич*

Художественный редактор *Т.Н. Галицына*

Технические редакторы *И.Н. Раченкова, Н.М. Харитонова*

Корректоры *А.П. Сизова, Л.Е. Сонюшкина, Л.А. Ягупьева*

Лицензия ЛР № 080003 от 12.09.96

Сдано в набор 12.02.97.

Подписано в печать 01.07.97.

Формат 60x88 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 36,26.

Уч.-изд. л. 37,35.

Заказ 2032

Оригинал-макет и электронная версия изготовлены в ордена Трудового Красного Знамени издательстве "Машиностроение" на персональных ЭВМ.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство "Машиностроение",
107076, Москва, Стромынский пер., 4

Отпечатано в АООТ "Политех-4"¹129110, Москва, Б. Переяславская ул., 46