

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**

В. У. Мнацаканян, В. В. Морозов, А. Г. Схиртладзе, В. А. Тимирязев

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Учебник

В двух частях

Часть 2

Под редакцией доктора технических наук
профессора В.А. Тимирязева

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию
в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве
учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по
направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»*

Владимир 2011

УДК 621.77
ББК 34.5
О-75

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Автоматизация
производства и проектирования в машиностроении» МГОУ

П.М. Кузнецов

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технология газо-
нефтяного машиностроения» РГУ им. И.М. Губкина

О.А. Новиков

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Основы технологии машиностроительного производства:
О-75 учеб. для машиностроительных вузов. В 2 ч. Ч. 2 / В.У. Мнацак-
нян [и др.]; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос.
ун-та, 2011. – 364 с.

ISBN 978-5-9984-0096-4 (Ч. 2)

ISBN 973-5-9984-0091-9

Изложены теоретические основы технологии машиностроения – параметры точности деталей и качества машин, вопросы базирования, методы выявления и расчета размерных связей в машинах и технологических процессах. Приведены примеры расчета размерных цепей с использованием пяти методов достижения точности замыкающего звена. Особое внимание уделено вопросам повышения точности и производительности обработки на станках путем использования адаптивных систем управления технологическими процессами.

Предназначен для студентов машиностроительных вузов, проходящих обучение на уровне бакалавров, магистров наук и дипломированных инженеров по направлению «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств».

Табл. 44. Ил. 155. Библиогр.: 35 назв.

УДК 621.77
ББК 34.5

© Владимирский государственный
университет, 2011

ISBN 978-5-9984-0096-4 (Ч. 2) © Мнацакян В. У., Морозов В. В.,

ISBN 973-5-9984-0091-9 Схиртладзе А. Г., Тимирязев В. А., 2011

Оглавление

Предисловие	5
Глава 8. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	7
8.1. Способы получения отливок	8
8.2. Нормирование параметров точности отливок	12
8.3. Заготовки, получаемые обработкой давлением	17
8.4. Нормирование точности заготовок-поковок	22
8.5. Припуски на механическую обработку поковок	27
8.6. Заготовки, получаемые сваркой и комбинированными методами	40
8.7. Получение заготовок и изделий методом порошковой металлургии.....	47
Вопросы для самопроверки.....	54
Глава 9. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИН.....	55
9.1. Временные связи в производственном процессе.....	55
9.2. Основы технического нормирования.....	60
9.3. Повышение производительности путем уменьшения затрат времени на выполнение операций	68
9.4. Расчет себестоимости изготовления изделия.....	90
9.5. Расходы на материал и пути их уменьшения.....	93
9.6. Расходы по заработной плате и пути их уменьшения... ..	102
9.7. Расходы на содержание и амортизацию средств труда.	105
9.8. Уменьшение накладных расходов.....	109
9.9. Сравнение и выбор оптимального по себестоимости варианта технологического процесса.....	110
Вопросы для самопроверки.....	113
Глава 10. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПОДГОТОВКИ И ОРГАНИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	115
10.1. Организационные формы и виды производственных процессов	115
10.2. Организация машиностроительного производства и расстановка технологического оборудования	119
10.3. Расчет количества необходимого станочного оборудования и коэффициентов его загрузки.....	124
10.4. Типизация технологических процессов. Групповая обработка заготовок	127

10.5. Технологичность конструкции деталей и изделия....	133
10.6. Унификация, стандартизация и сертификация в машиностроении	141
10.7. Автоматизация производства	146
Вопросы для самопроверки.....	169
Глава 11. СБОРКА МАШИН	171
11.1. Деление машин на сборочные единицы. Разработка последовательности сборки изделий.....	171
11.2. Формирование и нормирование сборочных операций.	190
11.3. Монтаж валов на опорах скольжения и качения	192
11.4. Монтаж зубчатых и червячных передач	206
11.5. Автоматизация технологического процесса сборки .	229
Вопросы для самопроверки.....	236
Глава 12. ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИНЫ	238
12.1. Исходные данные и последовательность разработки технологического процесса изготовления машины ..	238
12.2. Основы разработки технологического процесса сборки машины	243
12.3. Основы разработки технологических процессов изготовления деталей	253
12.4. Типовые технологические маршруты изготовления деталей машин	267
12.5. Проектирование технологических операций для изготовления деталей на многоцелевых станках ...	280
Вопросы для самопроверки.....	295
Глава 13. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	298
13.1. Обработка наружных и внутренних цилиндрических поверхностей	298
13.2. Методы обработки плоских и профильных поверхностей	312
13.3. Методы нарезания винтовых поверхностей	326
13.4. Методы нарезания зубчатых колес	336
Вопросы для самопроверки.....	357
Заключение	360
Библиографический список	361

Предисловие

Эффективное развитие хозяйственной деятельности страны во многом определяется техническим прогрессом машиностроения. Увеличение выпуска продукции машиностроения и повышение ее качества осуществляются преимущественно за счет интенсификации производства на основе широкого использования достижений науки, техники и применения прогрессивных технологий.

Технический прогресс в машиностроении характеризуется не только улучшением конструкций машин, но и непрерывным совершенствованием технологии их производства.

Актуальной задачей является повышение качества выпускаемых машин и, в первую очередь, их точности. Важно изготовить машину качественно, экономично и в заданные сроки с минимальными затратами труда. Обеспечение заданной точности – ответственная задача конструкторов, а ее технологическое обеспечение в процессе изготовления машин – основная задача технологов.

В данном учебнике с единых научных позиций изложены основы разработки технологических процессов изготовления деталей и сборки машин.

Рассмотрены способы изготовления заготовок, получаемых литьем, обработкой давлением, сваркой методом порошковой металлургии, а также вопросы нормирования точности заготовок.

Изложены технологические процессы изготовления типовых дета-

лей машин – валов, зубчатых колес, корпусов, а также основные методы обработки поверхностей деталей машин и достигаемые при этом параметры точности.

Рассмотрены основные технико-экономические показатели изготовления машин и показаны пути их улучшения. Проанализированы вопросы организации механосборочного производства и возможные пути повышения его эффективности.

Учебник написан коллективом авторов, представляющих технологические школы трех ведущих технических университетов России – МГТУ «Станкин», Владимирского государственного университета и Московского горного университета.

Учебник предназначен для студентов машиностроительных вузов, обучающихся по направлениям: «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств»; «Автоматизация и управление» и специальностям «Технология машиностроения»; «Металлорезающие станки и инструменты»; «Автоматизация технологических процессов и производств», а также другим техническим специальностям. Изложенный в книге материал может быть использован также инженерно-техническими работниками заводов, проектных организаций и институтов при выполнении работ по технологическому проектированию, автоматизации и управлению технологическими процессами в машиностроении.

Глава 8. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Выбирают заготовку и способ ее получения путем анализа и комплексной оценки конструктивных, технологических, экономических и организационных факторов. При выборе способа получения заготовки учитывают геометрическую форму, габариты и вес изготавливаемой детали, вид материала и его технологические свойства, а также программу выпуска изделий. В действующем производстве учитывают также возможности заготовительных цехов, плановые сроки подготовки и организации производства.

С целью уменьшения расходов на материал, снижения трудоемкости и затрат на механообработку необходимо стремиться к тому, чтобы заготовка по своей форме и размерам наиболее близко соответствовала геометрическим параметрам готовой детали. Однако применение наиболее производительных, совершенных способов получения точных заготовок связано со значительными затратами на специальное оборудование и приспособления, целесообразность которых становится оправданной при крупносерийном и массовом производстве. Поэтому, например, в единичном и мелкосерийном производстве в качестве заготовок для зубчатых колес используют круглый прокат, который предварительно поштучно разрезают. В массовом же производстве заготовкой является объемная штамповка с прошитым базовым отверстием. Однако для получения такой заготовки требуется приобретение штамповочного пресса и изготовление дорогостоящего специального штампа под конкретную деталь.

При изготовлении корпусных деталей из чугуна в качестве заготовок в основном применяют отливки, для получения которых требуются литейный цех и первоначальные затраты на модельный комплект. В случае единичного производства возможно применение сварных заготовок, получаемых из листовой стали ст3, ст5 путем разрезки листов толщиной 5, 10 и 12 мм на определенные прямоугольники, бобышки, косынки, которые затем сваривают в единый корпус. Такие заготовки имеют меньший

вес и меньшие припуски под механообработку, при этом стоимость их изготовления ниже. Однако конструктивно сварные заготовки обладают меньшей жесткостью, склонны к вибрациям и короблению. Все эти факторы необходимо учитывать при выборе заготовки.

Производительность заготовительных процессов в большинстве случаев на порядок выше производительности техпроцессов механической обработки. При этом возможно получение заготовок сложной геометрии. Таким образом, перенос большей части процесса формообразования детали на заготовительное производство, на стадию получения точных заготовок, позволяет значительно снизить расход материала и затраты на механическую обработку. Однако все это требует технико-экономических обоснований для каждого конкретного случая с учетом программы выпуска деталей, расхода материала, затрат на получение заготовки и ее механообработку.

В машиностроении для различных деталей машин применяют в основном следующие виды заготовок:

- 1) заготовки-отливки;
- 2) сварные заготовки;
- 3) заготовки, получаемые путем обработки металла давлением, например поковки, получаемые свободной ковкой, штамповки, изделия прокатного производства, а также изделия, получаемые выдавливанием, протягиванием и прессованием;
- 4) заготовки, получаемые методом порошковой металлургии;
- 5) заготовки, получаемые комбинированными методами, – штамповарные и листосварные, – в которых сварка служит для соединения отдельных частей заготовки, которые предварительно были получены литьем, штамповкой или резкой листового проката.

8.1. Способы получения отливок

Литье является одним из наиболее распространенных способов получения заготовок и деталей машин различных конфигураций, размеров и масс с использованием различных металлов и сплавов – чугуна, стали, сплавов меди, алюминия, магния и др. Литье относительно простой и дешевый способ, а для ряда деталей, в том числе деталей больших размеров, является единственным способом получения заготовок.

Литье в разовые песчано-глинистые формы обеспечивает получение большей части чугунных и стальных отливок (80 % от общей мас-

сы). При этом масса отливок может составлять от десятков граммов до сотен тонн. Точность размеров отливок невысокая (14 – 17 квалитет), шероховатость поверхности R_z 320...80 мкм. Для таких заготовок характерны большие припуски под механообработку.

Литейный процесс включает выполнение ряда операций:

- изготовление модельного комплекта;
- приготовление формовочных и стержневых смесей;
- изготовление стержней, формовку по моделям полуформ;
- сборку литейных форм и соединение опок;
- заливку расплавленного металла и охлаждение отливки в форме;
- извлечение отливки из одноразовой формы после остывания металла;
- обрубку литниковой системы и очистку полученной отливки.

Модели, применяемые для формовки, могут быть деревянными или металлическими, а сама формовка может выполняться вручную или на машинах – прессующих, встряхивающих.

Для получения более точных отливок с меньшими припусками на механическую обработку, более высоким классом шероховатости поверхностей и лучшей структурой металла применяют специальные способы литья – литье в постоянные металлические формы (кокили), центробежное литье, литье под давлением, литье по выплавляемым моделям, литье в оболочковые формы и др.

Литье в постоянные металлические формы (кокили) применяют в крупносерийном производстве для получения отливок из чугуна, стали и цветных сплавов. Масса отливок достигает 200 кг, точность размеров по 12 – 14 квалитету, шероховатость поверхности – R_z 40...10 мкм.

Кокиль – литейная форма многократного пользования, которая допускает получение до 5000 отливок из чугуна или порядка 700 отливок из стали. Кокили изготавливают из чугуна и стали цельными или разъемными по горизонтальной или вертикальной плоскостям.

Технология литья в кокиль включает очистку кокиля, нанесение на внутреннюю полость огнеупорной обмазки для исключения поверхностной закалки стали и отбеливания чугуна, установку стержней, нагрев кокиля до 200 – 300 °С, соединение полуформ и заливку расплавленного металла. Литье в кокили выполняют на специальных одно- или многопозиционных литейных машинах, что значительно повышает производительность литейной операции.

Центробежное литье применяют для получения заготовок тел вращения с центральным отверстием – толстостенных труб, втулок, колец, а также фасонных деталей из чугуна, стали и цветных сплавов. Центробежное литье применяют также для заливки бабитом вкладышей подшипников, получения бандажированных колес и других двуслойных деталей.

Этот процесс выполняют на машинах для центробежного литья, которые обеспечивают высокую производительность, не требуют изготовления стержней и затрат на формовочные смеси. Расплавленный металл заливают во вращающуюся форму, где он под действием центробежных сил отбрасывается к стенкам формы, охлаждается и затвердевает. При этом обеспечивается высокое качество отливок, получение плотной структуры металла без усадочных раковин. В результате сокращаются потери от брака и улучшаются условия труда.

Литье под давлением применяют для получения точных тонкостенных отливок средних и малых размеров из цветных сплавов – цинковых, алюминиевых, медных, магниевых. Масса отливок от нескольких граммов до 50 кг, точность размеров высокая (8 – 12 квалитет), шероховатость поверхности $R_z 20 \dots 10$ мкм, а в отдельных случаях $R_a 1,25 \dots 0,63$ мкм. Наименьшая толщина стенок отливки составляет 1...2 мм.

Расплавленный металл под давлением поршня заполняет пресс-форму, а затем после затвердевания металла форму раскрывают и извлекают полученную отливку. Литейная пресс-форма из углеродистой или легированной стали делается разъемной. Она состоит из подвижной и неподвижной частей, образующих замкнутую полость отливки, которая при необходимости может дополнительно подогреваться. Давление прессования составляет 35...98 МПа, в результате заполнение пресс-формы происходит при скорости до 120 м/с за несколько секунд.

Литье в оболочковые формы применяют для получения точных фасонных отливок из чугуна, стали, алюминиевых, медных и цинковых сплавов в крупносерийном производстве. Масса отливок может достигать 300 кг, а точность размеров 0,2 – 0,4 мм на 100 мм длины и шероховатость поверхности $R_z 40 \dots 20$ мкм.

Заливку металла осуществляют в оболочковые формы, которые укладывают в опоку, связывают общей литниковой системой и засыпают песком.

Оболочковые формы толщиной 6...10 мм получают из смеси квар-

цевого песка с термореактивной смолой, которая расплавляется при 100 – 200 °С, а при дальнейшем нагреве до 200 – 250 °С необратимо затвердевает. Для изготовления полуформ модельную плиту с полумodelью, покрытой разделительным составом (например, силиконовой жидкостью), погружают в песчано-смоляную смесь, которая на нагретой полумodelи образует оболочку толщиной 5 – 15 мм. Необходимую оболочковую форму получают путем последующей сборки и склеивания двух полученных отвердевших полуформ. Для механизации и автоматизации этого процесса применяют специальные литейные машины.

Литье по выплавляемым моделям применяют для получения точных отливок сложной формы из углеродистой и легированной сталей, чугуна, медных и алюминиевых сплавов. Масса получаемых заготовок может составлять от десятков граммов до сотни килограммов, точность размеров по 9 – 11 квалитетам, шероховатость поверхности $R_z 40 \dots 10$ мкм при возможной толщине стенок отливки 2...5 мм.

Заливку металла осуществляют в одноразовую неразъемную форму, из которой предварительно путем выплавления удаляют модель, изготовленную из особого легкоплавкого модельного состава, основными компонентами которого являются парафин, воск или стеарин.

Требуемую модель с припусками под усадку получают прессованием, объединяют литниковой системой в блоки (в виде елочки). Затем блок моделей погружают в емкость с жидкой формовочной смесью (суспензией для оболочковых форм), вынимают и обсыпают кварцевым песком. Эту операцию с периодической просушкой при температуре 150 – 200 °С повторяют 3 – 10 раз до получения корки нужной толщины. Полученную оболочковую форму прокаливают в печи при 800 – 850 °С, а затем перед заливкой помещают в металлический контейнер и для упрочнения засыпают песком.

Высокая трудоемкость этого процесса и стоимость заготовок определяют область применения этого способа – изготовление точных отливок сложной формы или отливок из труднообрабатываемых легированных сталей и твердых сплавов в массовом или крупносерийном производствах.

Применение точных методов литья позволяет получать отливки с высокой точностью размеров, геометрической формы и малой шероховатостью поверхности, для которых зачастую не требуется дальнейшая механическая обработка. Параметры точности размеров и шероховатости поверхностей, получаемых при различных способах литья, приведены в табл. 8.1

Таблица 8.1

Точность размеров и шероховатость поверхности отливок

Способ литья	Квалитет точности размеров IT и параметр шероховатости поверхности Ra (мкм) для материалов заготовки		
	легкие цветные сплавы	серый чугун	ковкий чугун, сталь
Под давлением	13...11; Ra до 0,63	14..12; Ra 1,25	–
В керамические формы и по выплавляемым моделям	14...12; Ra 2,5...1	15...13; Ra 5...2,5	15...14; Ra 2,5...5
В кокиль и в оболочковые формы	17...13; Ra 5...2,5	17...14; Ra 10...5	18...15; Ra 20...10
В песчано-глинистые формы, центробежное литье	18...14; Ra 10...5	19...15; Ra 20...10	19...16; Ra 20...10

Для плавления металлов перед заливкой в формы применяют специальное оборудование. Чугун доводят до жидкотекучего состояния в вагранках и шахтных печах; углеродистые и легированные стали – в мартеновских и электропечах; медные сплавы – в дуговых, индукционных и пламенных отражательных печах, а также в тиглях; алюминиевые сплавы – в электрических и пламенных печах.

Наиболее характерные дефекты отливок: трещины, раковины, коробление и неоднородность химического состава сплава, возникающая при кристаллизации. Для снижения брака необходим контроль на всех стадиях технологического процесса литья, а дефекты литья – открытые раковины, наружные трещины – обычно заваривают или заделывают металлическими пробками.

8.2. Нормирование параметров точности отливок

Параметры точности отливок из черных и цветных металлов и сплавов нормируют в соответствии с ГОСТ 26645-85, который устанавливает допуски размеров, формы, расположения и неровностей поверхности, а также допуски массы и припуски на обработку.

В качестве номинального размера отливки принимается номиналь-

ный размер детали для необрабатываемых поверхностей или сумма среднего размера детали и общего припуска на обработку – для обрабатываемых поверхностей.

При определении номинальных размеров отливок учитывают также технологические напуски, которые представляют собой местное увеличение тела отливки, вызванное особенностями литейной технологии. К технологическим напускам относят пополнения, которые обеспечивают направленную кристаллизацию отливки, сглаживание местных углублений и выступов, пополнения, компенсирующие искажение отливки под влиянием напряжений, возникающих при охлаждении, а также непроливаемые отверстия и формовочные уклоны. Технологические напуски указывают в чертежах отливки или детали с указанием размера отливки.

Номинальная масса отливки принимается равной массе отливки с ее номинальными размерами.

Нормы точности устанавливают как на отливку в целом, так и на ее отдельные поверхности и размеры. Точность отливки в целом характеризуется классом размерной точности отливки, степенью коробления, степенью точности поверхностей, классом точности массы. При этом обязательному применению подлежат классы размерной точности и точности массы отливки. Другие показатели точности отливок, а также специфические требования к точности литых деталей в зависимости от их назначения и условий эксплуатации регламентируются в отраслевой нормативно-технической документации.

На отдельные размеры и поверхности отливок допускается устанавливать более жесткие нормы точности, чем в целом на отливку. Допуски линейных размеров отливок, изменяемых и неизменяемых последующей механообработкой, должны соответствовать значениям, указанным в соответствующих таблицах ГОСТа [22]. Допуски угловых размеров в пересчете на линейные не должны превышать значений, устанавливаемых для линейных размеров соответствующих классов точности.

Допуски круглости, соосности, симметричности, пересечения осей, позиционные допуски в диаметральном выражении не должны превышать допусков на размеры, которые приводятся в соответствующих таблицах ГОСТа [22]. Допуск смещения отливки по плоскости разъема в диаметральном выражении устанавливают на уровне класса размерной

точности отливки по номинальному размеру наиболее тонкой стенки, выходящей на разъем. Допуск смещения, вызванный перекосом стержня, устанавливают в диаметральном выражении на 1, 2 класса точнее класса размерной точности отливки, по номинальному размеру наиболее тонкой стенки, формируемой с участием стержня.

Для обрабатываемых поверхностей отливок установлено симметричное расположение полей допусков относительно номиналов. Для необрабатываемых поверхностей допускается симметричное и несимметричное (частично или полностью) расположение полей допусков размеров, формы и расположения.

Поля допусков неровностей поверхностей отливок должны иметь симметричное расположение. Предусматривается также симметричное расположение поля допуска массы отливки относительно ее номинальной массы.

Согласно ГОСТ 26645-85 припуски на обработку (на сторону) назначают дифференцированно на каждую обрабатываемую поверхность отливки.

Общий припуск, назначаемый по таблицам, позволяет путем механообработки устранить погрешности размеров, формы и дефектов обрабатываемой поверхности, возникающих при изготовлении отливки, обеспечив достижение требуемой точности соответствующего элемента. При этом состав рекомендуемых технологических переходов также указывается в таблицах ГОСТа.

Общий допуск при определении припуска назначают на размеры от обрабатываемой поверхности до технологической базы обработки, при этом допуски размеров отливки, изменяемых обработкой, определяют по номинальным размерам детали.

В зависимости от уровня технологии механообработки представляется возможным назначать на заготовке как увеличенные, так и уменьшенные значения припусков. Для отливок мелкосерийного и единичного производства допускается назначать увеличенные значения припусков. Увеличенные припуски по сравнению с обычными могут быть назначены также при многостадийном процессе с промежуточной термообработкой или сборкой. При этом следует проводить дополнительное уточнение соответствующих норм точности обрабатываемой поверхности – степени точности поверхности, класса точности размера и степени коробления поверхности.

В технических требованиях чертежа отливки или детали с нанесенными размерами отливки должны быть указаны нормы точности отливки. Их приводят в следующем порядке: класс размерной точности, степень коробления, степень точности поверхностей, класс точности массы и допуск смещения отливки. *Пример условного обозначения точности отливки 8-го класса размерной точности, 5-й степени коробления, 4-й степени точности поверхностей, 7-го класса точности массы с допуском смещения 0,8 мм:*

Точность отливки 8-5-4-7 См. 0.8 ГОСТ 26645-85.

В целом согласно ГОСТу на отливки предусмотрен порядок уменьшения норм точности: классов размерной точности 1...16; степеней коробления 1...11; степеней точности поверхностей 1...22; класса точности массы 1...16.

В технических требованиях чертежей литой детали допускается сокращенная запись норм точности отливки, когда ненормируемые параметры заменяют нулями:

Точность отливки 8-0-0-7 ГОСТ 26645-85,

однако указание классов размерной точности и класса точности массы отливки является обязательным.

В технических требованиях чертежа отливки или детали с нанесенными размерами отливки должны быть указаны в приведенном ниже формате значения номинальных масс:

Масса 20,35-3,15-1,35-24,85 ГОСТ 26645-85,

где 20,35 кг – номинальная масса детали; 3,15 кг – масса припусков на обработку; 1,35 кг – масса технологических напусков; 24,85 кг – масса отливки.

Для необрабатываемых отливок или при отсутствии технологических напусков соответствующие величины заменяют нулями:

Масса 20,35-0-1,35-20,70 ГОСТ 26645-85

или *Масса 20,35-0-0-20,35 ГОСТ 26645-85.*

В технических требованиях чертежа литой детали указывают только массу детали.

Несимметричное расположение поля допуска отливки обозначают путем простановки предельных отклонений непосредственно у размера, при симметричном расположении поля допуска предельные отклонения у размера допускается не указывать. При требованиях к точности отдельных размеров отливки, отличающихся от обозначенных общей надписью, указывают их предельные отклонения.

При требованиях к точности формы и расположения отдельных поверхностей отливки, отличающихся от обозначенных общей надписью, допуски формы и расположения этих поверхностей указывают в соответствии с ГОСТ 2.308.

Использование ГОСТ 26645-85, определяющего параметры точности различных по геометрии и способам получения отливок, позволяет табличным способом определить общие припуски на обрабатываемые поверхности. Нахождение по таблицам ГОСТа общих припусков на обрабатываемые поверхности отливок осуществляется в определенной последовательности согласно заложенным информационным связям [22]. Исходными данными для нахождения припусков являются: технологический процесс литья, тип сплава отливки; наибольший габаритный размер отливки; тип производства и группа сложности отливки. На основании этих данных по таблицам ГОСТа [22] определяют пределы степени точности поверхности отливки, класса точности массы отливки, класса размерной точности отливки. На основе полученных данных по таблице определяют ряд припуска на обработку, а затем, зная необходимый размер и требования к форме и расположению поверхностей, находят допуск на размера отливки.

При выборе допуска необходимо учитывать следующие условия:

1. Допуски размеров элементов отливки, образованных двумя полуформами или полуформой и стержнем, устанавливают соответствующими классу размерной точности отливки.

2. Допуски размеров, образованных одной частью литейной формы или одним стержнем, устанавливают на 1, 2 класса точнее.

3. Допуски размеров, образованных тремя и более частями литейной формы, несколькими стержнями или подвижными элементами формы, а также допуски толщины стенок, образованных двумя и более частями формы или формой и стержнем, устанавливают на 1, 2 класса грубее.

Для обрабатываемых поверхностей отливок установлено симметричное расположение полей допусков, а для необрабатываемых допускается симметричное и несимметричное расположение полей допусков размеров.

Зная номинальную массу отливки и найденный выше класс точности массы, по таблице определяют допуск массы отливки как процент от номинальной массы. Дополнительными исходными данными для определения общего припуска на сторону являются:

- допуск размера детали от базы до обрабатываемой поверхности;
- вид окончательной обработки;
- метод установки отливки при обработке;
- общий допуск элемента поверхности;
- уровень точности обработки;
- тип обрабатываемой поверхности и соотношение между требуемой точностью обработанной поверхности детали и исходной точностью поверхности отливки.

Вид окончательной обработки определяют в зависимости от соотношения $IT_{дет} / IT_{заг}$ между допусками размера, получаемого от базы до обрабатываемой поверхности $IT_{дет}$ и допуском размера отливки $IT_{заг}$.

Общий припуск на поверхность вращения и противоположные поверхности, последовательно используемые в качестве баз при их обработке, назначают по половинным значениям общих припусков отливки на соответствующие диаметры или расстояния между противоположными поверхностями отливки.

Общий допуск элемента поверхности определяется на размер от обрабатываемой поверхности до базы обработки, при этом допуски размеров отливки, изменяемых обработкой, определяют по номинальным размерам детали.

8.3. Заготовки, получаемые обработкой давлением

Обработка давлением представляет собой широкий спектр технологических процессов получения заготовок и деталей машин, в основе которых лежат методы пластического деформирования. Под действием давления происходит пластическое деформирование металла, в результате чего изменяется форма заготовки без изменения ее массы.

Такие заготовки могут быть получены из стали, цветных металлов и сплавов, а также из пластмасс, резины, древесных пластиков, керамических материалов и стекла. При этом используют такие технологические процессы, как прокатка, волочение, ковка, штамповка, прессование и др., в которых на металл заготовки оказывают давление деформирующие силы прокатных станов, молотов, прессов и другого оборудования. Обработкой давлением можно получить заготовки и изделия из металлов и сплавов массой от нескольких граммов до десятков тонн.

Формообразование заготовок из конструкционных материалов во многом зависит от их пластичности, то есть способности изменять фор-

му под воздействием внешних сил, а затем, не разрушаясь, сохранять ее после прекращения действия силы. Пластичность различных материалов неодинакова. Поэтому материалы, обладающие высокой пластичностью, обрабатывают давлением в холодном состоянии, а другие для повышения пластичности нагревают и подвергают пластической деформации в горячем состоянии.

Заготовки, получаемые методами пластического деформирования, находят широкое распространение. Это объясняется высокой производительностью и относительно малой трудоемкостью методов, меньшими потерями металла, значительным приближением по форме и размерам заготовок к готовым деталям, увеличением прочности металла заготовок, а также широкими возможностями механизации и автоматизации технологических процессов.

Прокатка является наиболее распространенным и экономичным способом обработки металлов давлением, при котором металл на прокатных станах обжимается вращающимися валками, пластически деформируется и приобретает нужную геометрическую форму. Прокатное производство, куда поступает более 80 % выплавляемой стали, обеспечивает изготовление сортового проката, листового проката, труб и других специальных заготовок.

Различные по форме, профилю и размерам изделия прокатного производства образуют *сортамент проката*, технические характеристики которого, включая параметры геометрической точности, определены соответствующими ГОСТами.

Наиболее распространенными профилями сортового проката являются круглый, квадратный, шестигранный, полосовой, угловой, двутавровый, швеллерный, тавровый, рельсовый. Заготовки из проката применяют в единичном и серийном производствах, когда конфигурация изготавливаемой детали соответствует определенной форме сортового проката. Круглый прокат используют в качестве заготовок при изготовлении гладких и ступенчатых валов с небольшим перепадом диаметров, а также для изготовления зубчатых колес, фланцев, втулок. Штучные заготовки получают путем мерной резки прутка, которую выполняют на разрезных станках с использованием дисковых, ленточных или ножовочных пил. Точность линейных размеров заготовок составляет при этом 0,5...4,5 мм. Возможна также мерная резка прутка на токарных, фрезерно-отрезных и абразивно-отрезных станках, где достигают более высокой точности линейных размеров 0,3 ...0,8 мм.

Угловой и профильный прокат применяют для изготовления кронштейнов, полок, рам, сварных конструкций. Толстолистовой прокат применяют при изготовлении плоских деталей, планок, колец, крышек.

Для вырезания заготовок от листового проката толщиной до 100...200 мм используют газовую ацетиленокислородную или электрическую плазменно-дуговую резку, которая обеспечивает точность при ручной резке $\pm (4...10)$ мм, а при машинной – $\pm (1...2)$ мм. Резку листового проката толщиной до 25 мм выполняют также на пресс-ножницах с прямыми и фасонными ножами с точностью $\pm (1...6)$ мм, а также на гильотинных и дисковых ножницах с точностью $\pm (0,25...0,6)$ мм.

Трубы применяют в качестве заготовок при изготовлении цилиндров, гильз, шпинделей и колец. Это позволяет на 30 – 70 % уменьшить расход металла при одновременном снижении трудоемкости механообработки на 20 – 35 %.

Выпускают также специальный прокат с периодическим профилем, который используют в качестве заготовок в крупносерийном и массовом производствах для изготовления деталей с изменяющимся по длине сечением (рычаги, шатуны, валы, полуоси, шары и др.). Это наиболее экономичные профили заготовительного производства.

Получение заготовок давлением осуществляется также путемковки, штамповки и другими способами.

Свободную ковку применяют в мелкосерийном производстве главным образом для получения относительно крупных стальных заготовок простой формы. Геометрия получаемых заготовок-поковок ограничивается плоскими и цилиндрическими поверхностями. С целью упрощения формы на заготовке часто оставляют напуски. Для таких заготовок характерно наличие огранки, невысокая точность размеров, соответствующая качеству IT19, IT20, а также значительные припуски на механообработку. Масса заготовок может достигать 250 т. Свободная ковка может быть ручной (на наковальне) или машинной (на молотах или гидропрессах). В качестве исходных заготовок используют разогретые до температуры 1000 ... 1350 °С слитки или прокат.

Горячую объемную штамповку применяют для получения более точных заготовок сложной геометрии, форма которых близко приближается к форме готовой детали. Для получения заготовок-штамповок используют следующие способы: штамповку в закрытых и открытых штампах, штамповку в подкладных штампах, штамповку выдавлива-

нием и прошивкой, штамповку в штампах с разъемными матрицами на прессах или на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ), штамповку на радиально-обжимных машинах (ротационная ковка) и др.

Штамповку в закрытых и открытых штампах выполняют на молотах или на прессах в крупносерийном и массовом производствах с целью получения наиболее точных заготовок для зубчатых колес, дисков, крышек, втулок, валов, рычагов и др. Формообразование заготовки происходит в двух профильных полостях верхней и нижней половины штампа, изготовление которого экономически оправдано только при большой программе выпуска изделий. Полости штампов называют *ручьями*. Одноручьевые штампы применяют для изготовления простых заготовок. В многоручьевых штампах формирование поковки происходит за несколько переходов путем прохождения заготовкой последовательно расположенных ручьев.

Масса заготовок, получаемых штамповкой, обычно не превышает 20...30 кг, а допуски на размеры в 3...5 раз меньше, чем у заготовок, получаемых свободной ковкой. Характерной особенностью заготовок-штамповок является наличие штамповочных уклонов $7...10^\circ$ и радиусов закругления порядка 3...9 мм. В качестве исходной заготовки обычно используют сортовой (круглый), реже профильный прокат, который предварительно разрезают по требуемым объемам, а затем нагревают до нужной температуры.

Штамповку в подкладных штампах применяют в мелкосерийном производстве, начиная от 30 до 500 поковок. Штамповку осуществляют с использованием упрощенной, универсальной штамповочной оснастки в виде подкладных форм – колец, призм и прочих элементов. В результате отпадает необходимость изготовления дорогостоящего специального штампа, что позволяет быстро получать дешевые относительно точные заготовки достаточно сложной формы.

С целью повышения точности штампованных заготовок после горячей объемной штамповки в ряде случаев выполняют горячую или холодную калибровку. В результате точность размеров увеличивается на 3...5 квалитетов, а шероховатость поверхности Ra уменьшается в 4...6 раз (до Ra 2,5...0,8 мкм).

Горячая объемная штамповка в закрытых штампах происходит без образования облоя, что значительно экономит металл и не требует калибровки на обрезных штампах или прессах.

Холодная объемная штамповка применяется для получения заготовок без предварительного нагрева исходного материала. Основными технологическими переходами при ее выполнении являются холодное выдавливание, высадка, объемная формовка.

В зависимости от исходной заготовки имеет место объемная и листовая штамповки, последняя также может выполняться в горячем или холодном состоянии. Исходным материалом для нее служат листы, ленты, полосы. При толщине полосы свыше 10 мм применяют горячую листовую штамповку. Большее распространение получила холодная листовая штамповка, основными переходами которой являются вырубка по контуру, пробивка отверстий, отрезка, вытяжка, отбортовка. Холодная вытяжка позволяет получить полую пространственную деталь из исходной листовой заготовки.

Для листовой штамповки характерна высокая производительность, простота процесса, низкая себестоимость и относительно высокая точность размеров получаемых заготовок. Таким методом получают различные плоские и пространственные заготовки и детали, толщина стенок у которых мало отличается от толщины исходной ленты.

Заготовки, изготовленные холодной объемной штамповкой, выдавливанием и холодной высадкой, можно получать из стали и деформируемых сплавов на основе алюминия и меди. Исходными заготовками обычно служат прутки, трубы и проволока. Иногда процессы высадки и выдавливания совмещаются. Холодная высадка осуществляется на высокопроизводительных автоматах из калиброванного материала. Характеристики точности и качества поверхностей заготовок, получаемых обработкой давлением, приведены в табл. 8.2. Они относятся к поковкам массой 10...20 кг.

Таблица 8.2

Точность размеров и шероховатость поверхностей стальных заготовок, получаемых путем обработки давлением

Способы обработки давлением	Квалитет точности размеров IT	Шероховатость поверхности Ra , мкм
Свободная ковка:		
стержней, валов и дисков	18...19	30...60
полых валов и цилиндров	19...20	30...60
Штамповка:		
в открытых штампах	16...17	6...12
с горячей калибровкой	13...16	1...2,5

Способы обработки давлением	Квалитет точности размеров IT	Шероховатость поверхности Ra , мкм
на ГKM	13...15	2,5...5
Ротационная ковка	10...12	1...2,5
Холодная объемная штамповка выдавливанием	8...11	0,8...1,6
Холодная высадка	8...9	0,8...2,5

8.4. Нормирование точности заготовок-поковок

Припуски и допуски на поковки из углеродистой и легированной сталей, изготавливаемые ковкой на прессах, регламентируются ГОСТ 7062-79. Он распространяется на поковки общего назначения массой до 100 т с суммарным содержанием легирующих компонентов до 10 %, кроме углерода [22].

Схема расположения припусков и допусков на наружный размер детали, получаемой из поковки (ГОСТ 7062-79), приведена на рис. 8.1, где приняты следующие обозначения:

H_0 – обдирочный размер заготовки или номинальный размер детали;

H_{\min} – наименьший размер поковки, $H_{\min} = H_0 + \delta_{\min}$;

H – номинальный (расчетный) размер поковки, $H = H_0 + \delta$;

H_{\max} – наибольший размер поковки, $H_{\max} = H + \Delta/2 = H_0 + \delta_{\min} + \Delta$;

δ_{\min} – наименьший припуск на размер H_0 , $\delta_{\min} = H_{\min} - H_0$;

δ – номинальный припуск на размер H_0 , $\delta = H - H_0 = \delta_{\min} + \Delta/2$;

Δ – поле допуска, $\Delta = H_{\max} - H_{\min}$;

$\Delta/2$ – предельное отклонение от номинального размера поковки,

$\Delta/2 = H_{\max} - H = H - H_{\min}$.

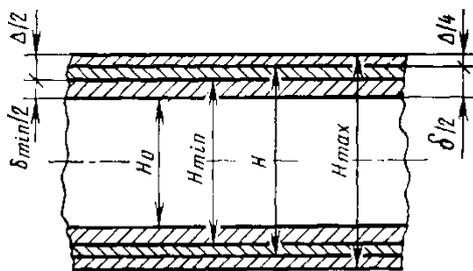


Рис. 8.1. Схема расположения припусков и допусков на наружный размер детали, получаемой из поковки

На поковки из слитков массой менее 6 т из сталей марок Ст 5, Ст 6, 30, 35, 40, 45, 50, 30Г, 50Г, 15ХМ, 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ табличные значения припусков уменьшаются на 10 %. При этом отклонения $\pm \Delta/2$ остаются без изменений.

При обработке деталей с одной стороны припуск принимается равным половине табличного значения. Верхнее отклонение при этом сохраняют без изменения, а нижнее принимают с коэффициентом 0,5.

Допускается расчетные номинальные размеры поволовок округлять до чисел, оканчивающихся на 5 или 0. Номинальные размеры округляют в мень-

шую сторону, если они оканчиваются на 1, 2, 6 и 7, и в большую, если они оканчиваются на 3, 4, 8 и 9. Выбор величины допусков, припусков и напусков проводят в зависимости от типа поковок и соотношения их размеров.

Для поковок, изготавливаемых ковкой на молотах, припуски на механическую обработку изделий общего назначения из прокатной стали или начерно обработанного слитка назначают согласно ГОСТ 7829–70. В свою очередь, точность стальных штампованных поковок массой не более 250 кг с линейным размером не более 2500 мм, получаемых горячей объемной штамповкой, определяется согласно ГОСТ 7505–93 [22, 25].

Стандарты устанавливают допуски, припуски, кузнечные напуски, наименьшие радиусы закругления наружных углов в зависимости от конструктивных характеристик поковки, шероховатости обработанной поверхности детали, величины размеров и массы поковки.

К конструктивным характеристикам поковки отнесены: класс точности поковки, группа стали, степень сложности, конфигурация поверхности разъема штампа. Стандарт устанавливает пять классов точности – Т1, Т2, Т3, Т4 и Т5, – три группы сталей – М1, М2 и М3, – четыре степени сложности – С1, С2, С3 и С4, – три вида конфигурации поверхности разъема штампа – плоская (П), симметрично изогнутая (И_с), несимметрично изогнутая (И_н).

Класс точности поковки зависит от используемого оборудования и технологического процесса и может быть определен по табл. 8.3.

Таблица 8.3

Класс точности поковок

Основное деформирующее оборудование, технологические процессы	Класс точности				
	Т1	Т2	Т3	Т4	Т5
Кривошипные горячештамповочные прессы: – открытая (облойная) штамповка; – закрытая штамповка; – выдавливание		+	+	+	+
Горизонтально-ковочные машины				+	+
Прессы винтовые, гидравлические				+	+
Горячештамповочные автоматы		+	+		
Штамповочные молоты				+	+
Калибровка объемная (горячая и холодная)	+	+			
Прецизионная штамповка	+				

Примечания: прецизионная штамповка – способ штамповки, обеспечивающий устанавливаемую точность и шероховатость одной или нескольких функциональных поверхностей поковки, которые не подвергаются окончательной обработке. При пламенном нагреве допускается снижение точности для классов Т2 – Т4 на один класс. При холодной или горячей плоскостной калибровке точность принимается на один класс выше.

Стали с массовой долей углерода до 0,35 % включительно и суммарной массовой долей легирующих элементов до 2 % включительно отнесены к первой группе – М1. Ко второй группе М2 отнесены стали с массовой долей углерода свыше 0,35 до 0,65 % включительно или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 2,0 до 5 % включительно. Стали с массовой долей углерода свыше 0,65 % или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 5,0 % отнесены к третьей группе – М3.

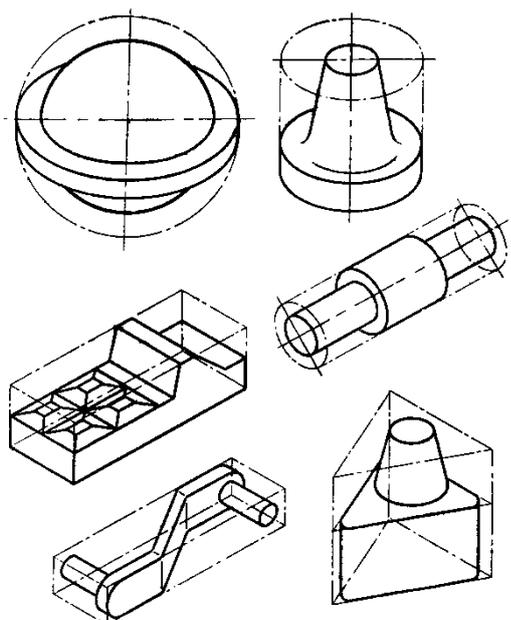


Рис. 8.2. Использование геометрических фигур для классификации поковок по степени сложности

В качестве критерия для классификации поковок по степеням сложности используется отношение массы (объема) поковки G_n к массе (объему) геометрической фигуры G_ϕ , в которую вписывается форма поковки. В качестве такой геометрической фигуры ГОСТ рекомендует использовать шар, параллелепипед, цилиндр с перпендикулярными к его оси торцами или прямую правильную призму (рис. 8.2). Причем выбирается та из фигур, объем которой наименьший. Соотношения между степенью точности и отношением G_n / G_ϕ приведены в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Классификации поковок по степеням сложности

Степень сложности	G_n / G_ϕ	
	Свыше	Включительно
С1	0,63	–
С2	0,32	0,63
С3	0,16	0,32
С4	–	0,16

Отметим, что при определении размеров геометрической фигуры, описывающей поковку, допускается исходить из увеличения в 1,05 раза

габаритных линейных размеров детали, определяющих положение ее обработанных поверхностей.

Степень сложности С4 устанавливается для поволоков с тонкими элементами, например в виде диска, фланца, кольца (рис. 8.3), в том числе с пробиваемыми перемычками, а также для поволоков с тонким стержневым элементом, если отношения t/D , t/L , $t/(D-d)$ не превышают 0,20 и t не более 25 мм (где D – наибольший размер тонкого элемента, t – толщина тонкого элемента, L – длина тонкого элемента, d – диаметр элемента поковки, толщина которого превышает величину t).

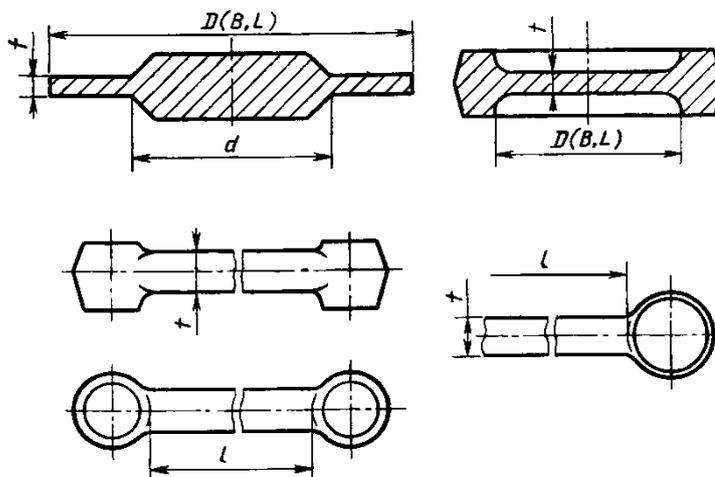


Рис. 8.3. Геометрические элементы поковки, определяющие ее степень сложности

Степень сложности поволоков, получаемых на горизонтально-ковочных машинах, допускается определять в зависимости от числа переходов: С1 – не более чем при двух переходах; С2 – при трех переходах; С3 – при четырех переходах; С4 – более чем при четырех переходах или при изготовлении на двух ковочных машинах.

В качестве показателя, учитывающего в обобщенном виде сумму конструктивных характеристик (класс точности, группу стали, степень сложности, конфигурацию поверхности разъема) и массу поковки, принят *исходный индекс* (ИН). В соответствии с ГОСТом исходный индекс принимает значения в диапазоне 1 – 23, его численную величину можно определить по формуле

$$\text{ИН} = \text{НИ} + (\text{МС} - 1) + (\text{СТ} - 1) + 2(\text{КТ} - 1), \quad (8.1)$$

где НИ – номер интервала, в который попадает масса поковки (табл. 8.5);

МС – группа стали (МС = 1 для группы стали М1, МС = 2 для группы М2 и МС = 3 для группы М3 соответственно);

СТ – степень сложности поковки (СТ = 1 для С1, СТ = 2 для С2, СТ = 3 для С3 и СТ = 4 для С4);

КТ – класс точности (КТ = 1 для Т1, КТ = 2 для Т2, КТ = 3 для Т3 и КТ = 4 для Т4).

Класс точности, группа стали, степень сложности и исходный индекс должны быть указаны на чертеже поковки.

Расчетная масса поковки определяется как масса поковки подвергнутой деформации или ее части. В массу поковки не входят масса облоя и перемычки пробитого отверстия.

Таблица 8.5

Интервал массы поковки

Масса поковки, кг		Номер интервала NI
Свыше	Включительно	
–	до 0,5	1
0,5	1,0	2
1,0	1,8	3
1,8	3,2	4
3,2	5,6	5
5,6	10,0	6
10,0	20,0	7
20,0	50,0	8
50,0	125,0	9

При высадке поковок на горизонтально-ковочных машинах или местной штамповке на молотах и прессах масса поковки включает массу части стержня, зажатого штампами.

Расчетная масса поковки определяется исходя из ее номинальных размеров. Ориентировочную величину расчетной массы поковки ($G_{\text{п}}$) допускается определять по формуле

$$G_{\text{п}} = M_{\text{Д}} \cdot K_{\text{р}}, \quad (8.2)$$

где $G_{\text{п}}$ – расчетная масса поковки, кг; $M_{\text{Д}}$ – масса детали, кг; $K_{\text{р}}$ – расчетный коэффициент, устанавливаемый в соответствии с табл. 8.6.

Таблица 8.6

Значения коэффициентов для определения расчетной массы поковки

Группа	Характеристика детали	Типовые представители	$K_{\text{р}}$
1	Удлиненной формы:		
1.1	с прямой осью;	Валы, оси, цапфы, шатуны	1.3 – 1.6
1.2	с изогнутой осью	Рычаги, сошки рулевого управления	1.1 – 1.4
2	Круглые и многогранные в плане:		
2.1	круглые;	Шестерни, ступицы, фланцы	1.5 – 1.8
2.2	квадратные, многогранные, прямоугольные;	Фланцы, ступицы, гайки	1.3 – 1.7
2.3	с остротками	Крестовины, вилки	1.4 – 1.6

Группа	Характеристика детали	Типовые представители	Кр
3	Комбинированной (сочетающей элементы групп 1-й и 2-й) конфигурации	Кулаки поворотные, коленчатые валы	1.3 – 1.8
4	С большим объемом необрабатываемых поверхностей	Балки передних осей, рычаги переключения коробок передач, буксирные крюки	1.1 – 1.3
5	С отверстиями, углублениями, поднутрениями, не оформленными в поковке при штамповке	Полые валы, фланцы, блоки шестерен	1.8 – 2.2

8.5. Припуски на механическую обработку поковок

Припуск на механическую обработку включает основной, а также дополнительные припуски, учитывающие отклонения формы поковки. Величины припусков назначаются на одну сторону номинального размера поковки.

Основные припуски на механическую обработку поковок в зависимости от исходного индекса, линейных размеров и шероховатости поверхности устанавливаются по табл. 8.7 [22]. При этом необходимо учитывать геометрические параметры поковки (рис. 8.4): толщину (T, t) – высотный размер геометрического элемента поковки, получаемого в обеих частях штампа; длину (L, l); ширину (B, b), диаметр (D, d), высоту и глубину (H, h) – размеров элементов поковки, получаемых в одной части штампа.

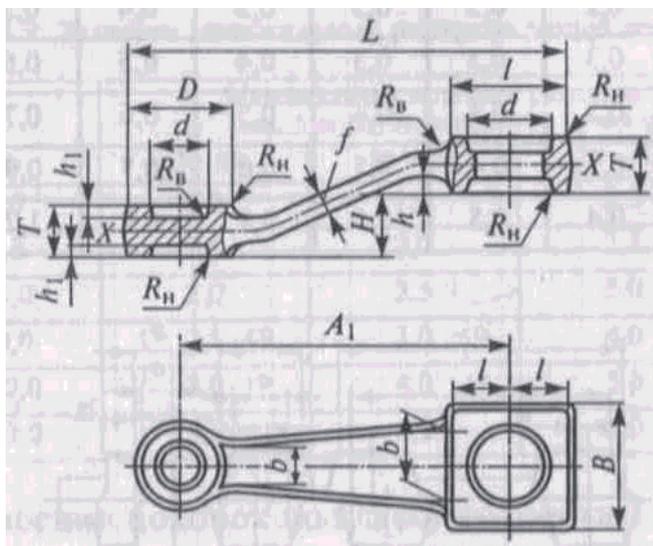


Рис. 8.4. Геометрические параметры поковки, учитываемые при назначении припусков

Таблица 8.7

Основные припуски на механическую обработку поковок (на сторону)

Исход- ный индекс ИН	Толщина детали, мм											
	до 25			25 – 40			40 – 63			63 – 100		
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота, мм											
	до 40			40 – 100			100 – 160			160 – 250		
	Шероховатость поверхности, мкм											
	100 – 12,5	10 – 1,6	1,25	100 – 12,5	10 – 1,6	1,25	100 – 12,5	10 – 1,6	1,25	100 – 12,5	10 – 1,6	1,25
1	0,4	0,6	0,7	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9
2	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9
3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0
4	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1
5	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2
6	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4
7	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5
8	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6
9	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8
10	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9
11	1,2	1,5	1,6	1,2	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0
12	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2
13	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5
14	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7
15	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0
16	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3
17	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5
18	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8
19	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1
20	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7
21	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1
22	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6
23	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2

ИН	Толщина детали, мм														
	100 – 160			160 – 250			св. 250								
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота детали, мм														
	250 – 400			400 – 630			630 – 1000			1000 – 1600			1600 – 2500		
	Шероховатость поверхности, мкм														
100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	
–	–		–	–		–	–		–	–		–	–		
12,5	1,6		12,5	1,6		12,5	1,6		12,5	1,6		12,5	1,6		
1	0,6	0,8	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	0,0	0,0	0,0
6	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0
7	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2
8	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5
9	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7
10	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0
11	1,7	2,0	2,0	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3
12	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5
13	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8
14	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1
15	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7
16	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1
17	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6
18	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2
19	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8
20	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5
21	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5	5,8	7,4	8,1
22	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5	5,8	7,4	8,1	6,2	7,2	8,7
23	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5	5,8	7,4	8,1	6,2	7,9	8,7	7,1	9,1	10

Припуски на толщину поковки, подвергаемой холодной или горячей калибровке, определяются по табл. 8.8.

Дополнительные припуски учитывают смещение поковки, изогнутость, отклонения от плоскостности и прямолинейности, межцентрового и межосевого расстояний, угловых размеров и определяются исходя из формы поковки и технологии ее изготовления.

Смещения по поверхности разъема штампов, изогнутость и отклонения от плоскостности и прямолинейности устанавливаются по таблицам [22] в зависимости от класса точности поковки Т, формы разъема штампа, наибольшего размера поковки и ее массы. При назначении величины припуска на поверхность, положение которой определяется двумя и более размерами поковки, устанавливается наибольшее значение припуска для данной поверхности.

Таблица 8.8

Припуски на толщину поковки, подвергаемой калибровке

Площадь поверхности, подвергаемой калибровке, см ²		Припуск, мм	Поле допуска при К*, мм	
свыше	до (включ.)		до 0,5	свыше 0,5
	2,5	0,25	0,32	0,26
2,5	6,3	0,30	0,36	0,32
6,3	10,0	0,36	0,40	0,36
10,0	16,0	0,40	0,44	0,40
16,0	25,0	0,50	0,50	0,44
25,0	40,0	0,60	0,60	0,50
40,0	80,0	0,80	0,80	0,60

Примечания:

К* – отношение толщины (расстояние между калиброванными плоскостями) к ширине поковки, подвергаемой калибровке, или ее элемента.

При одновременной калибровке нескольких плоскостей поковки площадь поверхности, подвергаемой калибровке, определяется как их сумма, а допуски и допускаемые отклонения устанавливаются на все калиброванные элементы по наименьшей величине К.

При горячей калибровке припуски и допуски на толщину поковок могут быть увеличены до 1,5 раз.

Отклонения от параллельности, плоскостности и прямолинейности калиброванных плоскостей допускаются в пределах допуска размера после калибровки.

Минимальная величина радиусов закруглений наружных углов поковок в зависимости от глубины полости ручья штампа устанавливается по таблице [22] от 1...2,5 мм (при массе поковки до 16 кг и глубине полости ручья до 25 мм) до 6...8 мм (при массе поковки более 100 кг и глубине полости ручья до 25...50 мм).

При изготовлении поковок по классу точности Т5 с применением пламенного нагрева заготовок допускается увеличение припуска:

Для поковок с массой до 3,2 кг	Для поковок с массой 3,2...10,0 кг	Для поковок с массой свыше 10,0 кг
до 0,5 мм	до 0,8 мм	до 1,0 мм

Допускаемые отклонения линейных размеров поковок назначают в зависимости от исходного индекса и размеров поковки по табл. 8.9. Допускаемые отклонения внутренних размеров поковок устанавливают с обратными знаками. Предельные отклонения размеров, отражающие односторонний износ штампов, равны 0,5 величин, приведенных в табл. 8.9 значений.

Таблица 8.9

Допуски и допускаемые отклонения линейных размеров поковки

ИН	Наибольшая толщина поковки, мм							
	до 40		40 – 63		63 – 100		100 – 160	
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота поковки, мм							
	до 40		40 – 100		100 – 160		160 – 250	
	Предельные отклонения (верхнее +, нижнее –)							
	+	–	+	–	+	–	+	–
1	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	0,2	0,4	0,2
2	0,3	0,1	0,3	0,2	0,4	0,2	0,5	0,2
3	0,3	0,2	0,4	0,2	0,5	0,2	0,5	0,3
4	0,4	0,2	0,5	0,2	0,5	0,3	0,6	0,3
5	0,5	0,2	0,5	0,3	0,6	0,3	0,7	0,3
6	0,5	0,3	0,6	0,3	0,7	0,3	0,8	0,4
7	0,6	0,3	0,7	0,3	0,8	0,4	0,9	0,5
8	0,7	0,3	0,8	0,4	0,9	0,5	1,1	0,5
9	0,8	0,4	0,9	0,5	1,1	0,5	1,3	0,7
10	0,9	0,5	1,1	0,5	1,3	0,7	1,4	0,8
11	1,1	0,5	1,3	0,7	1,4	0,8	1,6	0,9
12	1,3	0,7	1,4	0,8	1,6	0,9	1,8	1,0
13	1,4	0,8	1,6	0,9	1,8	1,0	2,1	1,1
14	1,6	0,9	1,8	1,0	2,1	1,1	2,4	1,2
15	1,8	1,0	2,1	1,1	2,4	1,2	2,7	1,3
16	2,1	1,1	2,4	1,2	2,7	1,3	3,0	1,5
17	2,4	1,2	2,7	1,3	3,0	1,5	3,3	1,7
18	2,7	1,3	3,0	1,5	3,3	1,7	3,7	1,9
19	3,0	1,5	3,3	1,7	3,7	1,9	4,2	2,1
20	3,3	1,7	3,7	1,0	4,2	2,1	4,7	2,4
21	3,7	1,9	4,2	2,1	4,7	2,4	5,3	2,7

Окончание табл. 8.9

22	4,2	2,1	4,7	2,4	5,3	2,7	6,0	3,0		
23	4,7	2,4	5,3	2,7	6,0	3,0	6,7	3,3		
ИН	Наибольшая толщина поковки, мм									
	160 – 250		св. 250							
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота поковки, мм									
	250 – 400		400 – 630		630 – 1000		1000 – 1600		1600 – 250	
	Предельные отклонения (верхнее +, нижнее –)									
		+	–	+	–	+	–	+	–	+
1	0,5	0,2	–	–	–	–	–	–	–	–
2	0,5	0,3	0,6	0,3	–	–	–	–	–	–
3	0,6	0,3	0,7	0,3	0,8	0,4	–	–	–	–
4	0,7	0,3	0,8	0,4	0,9	0,5	–	–	–	–
5	0,8	0,4	0,9	0,5	1,1	0,5	1,3	0,7	–	–
6	0,9	0,5	1,1	0,5	1,3	0,7	1,4	0,8	1,6	0,9
7	1,1	0,5	1,3	0,7	1,4	0,8	1,6	0,9	1,8	1,0
8	1,3	0,7	1,4	0,8	1,6	0,9	1,8	1,0	2,1	1,1
9	1,4	0,8	1,6	0,9	1,8	1,0	2,1	1,1	2,4	1,2
10	1,6	0,9	1,8	1,0	2,1	1,1	2,4	1,2	2,7	1,3
11	1,8	1,0	2,1	1,1	2,4	1,2	2,7	1,3	3,0	1,5
12	2,1	1,1	2,4	1,2	2,7	1,3	3,0	1,6	3,3	1,7
13	2,4	1,2	2,7	1,3	3,0	1,5	3,3	1,7	3,7	1,9
14	2,7	1,3	3,0	1,5	3,3	1,7	3,7	1,9	4,2	2,1
15	3,0	1,5	3,3	1,7	3,7	1,9	4,2	2,1	4,7	2,4
16	3,3	1,7	3,7	1,9	4,2	2,1	4,7	2,4	5,3	2,7
17	3,7	1,9	4,2	2,1	4,7	2,4	5,3	2,7	6,0	3,0
18	4,2	2,1	4,7	2,4	5,3	2,7	6,0	3,0	6,7	3,3
19	4,7	2,4	5,3	2,7	6,0	3,0	6,7	3,3	7,4	3,6
20	5,3	2,7	6,0	3,0	6,7	3,3	7,4	3,6	8,0	4,0
21	6,0	3,0	6,7	3,3	7,4	3,6	8,0	4,0	8,6	4,4
22	6,7	3,3	7,4	3,6	8,0	4,0	8,6	4,4	9,2	4,8
23	7,4	3,6	8,0	4,0	8,6	4,4	9,2	4,8	10,0	6,0

Допускаемые отклонения толщины поковки, подвергаемой холодной или горячей калибровке, устанавливаются по табл. 8.8.

Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа и величина остаточного облоя определяются с учетом массы поковки, конфигурации поверхности разъема штампа и класса точности поковки [22]. Для поволоков класса Т1...Т5 при массе 1...10 кг они составляют:

- допускаемое смещение по поверхности разъема 0,5...1,4 мм;
- допускаемая величина остаточного облоя 0,7...1,6 мм.

При этом в местах перехода для радиусов до 10 мм допускается назначать удвоенную величину остаточного облоя.

В соответствии с массой поковки величина высоты заусенца по контуру обрезки облоя не должна превышать следующих значений:

масса, кг	до 3,5	3,5 – 5	5 – 50	св. 50
высота заусенца, мм	2	3	5	6

При пробивке отверстия эта величина может быть увеличена в 1,3 раза.

Предельные отклонения от concentричности пробитого в поковке отверстия назначают с учетом класса точности поковки и ее наибольшего размера [22]. Для поковок класса Т1...Т5 при наибольшем размере до 250 мм они составляют 0,6...2 мм, при размере до 630 мм – 1...3 мм. При этом в конце пробивки (со стороны выхода пуансона) эти отклонения могут быть увеличены на 25 %.

Допускаемые отклонения от плоскостности, прямолинейности, изогнутости для плоских поверхностей также определяют с учетом класса точности поковки и ее наибольшего размера [22]. Для поковок класса Т1...Т5 при наибольшем размере до 250 мм они составляют 0,5...1,2 мм, при размере до 630 мм – 0,8...2 мм.

Допускаемые отклонения межцентрового расстояния A_1 (см. рис. 8.4) устанавливают с учетом номинального размера A_1 и класса точности Т1...Т5 поковки. Так, например, для поковок класса Т1...Т5 при размере A_1 до 250 мм они составляют $\pm 0,25... \pm 1,2$ мм. Допускаемое радиальное биение цилиндрических поверхностей не должно превышать удвоенной величины погрешности их геометрической формы.

Допускаемые отклонения штампованных уклонов на поковках устанавливают в пределах $\pm 0,25$ их номинальной величины.

Длинномерные поковки с размерами свыше 1000 мм перед механической обработкой обычно подвергают правке.

Кузнечным напуском называют дополнительный объем металла поковки, предназначенный для упрощения ее конфигурации и

учета смещений полостей штампа. Кузнечные напуски на поковке образуются штамповочными уклонами, радиусами закругления внутренних углов, непробиваемой перемычкой в отверстиях, а также поднутрениями, которые не выполняются на штамповочных переходах.

Штамповочные уклоны на поковках, получаемых на соответствующем оборудовании (рис. 8.5), не должны превышать установленных величин:

Оборудование	Штамповочные уклоны, град	
	на наружной поверхности	на внутренней поверхности
Штамповочные молоты, прессы без выталкивателей	7°	10°
Прессы с выталкивателями, горизонтально-ковочные машины	5°	7°
Горячештамповочные автоматы	1°	2°

В отверстиях поковок, полученных на горизонтально-ковочных ма-

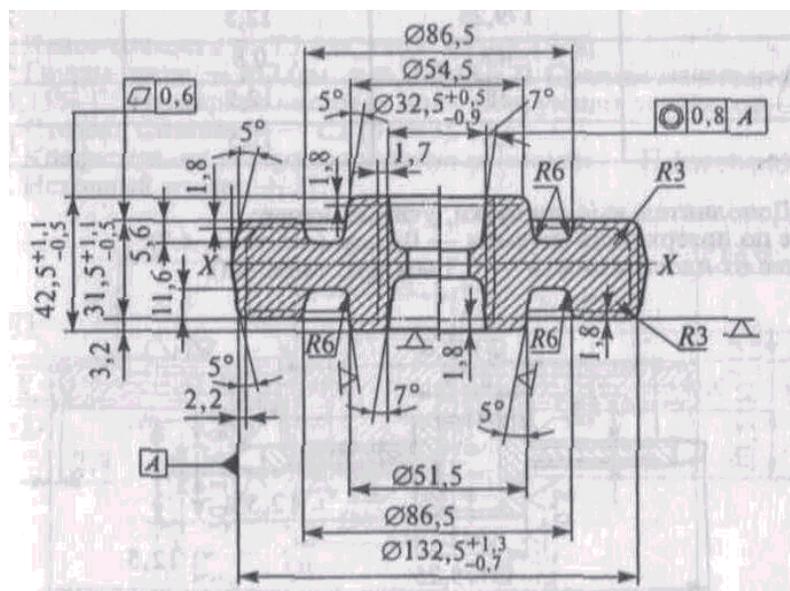


Рис. 8.5. Чертеж поковки зубчатого колеса

внешней поверхности и до 12°.

На поковке допускается след в виде впадины или выступа, образу-

шинах, штамповочный уклон не должен превышать 3°.

У поковок, получаемых на штамповочных молотах или прессах без выталкивателей, имеющих ребра или выступа с отношением их высоты к ширине более 2,5, допускается штамповочный уклон до 10° на

ющийся от выталкивателя или от зажимных элементов штампа. Их величина не должна быть более 0,5 величины фактического припуска.

Чертеж поковки должен содержать все данные, необходимые для изготовления и контроля поковки. Чертеж поковки выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1126–88 и стандартов ЕСКД. Его разрабатывают на основе чертежа детали.

В технических требованиях, предъявляемых к поковке, указывают группу и категорию прочности поковки, класс точности, группу стали, степень сложности и исходный индекс. Согласно ГОСТ 8479–70 отнесение поковки к одной из пяти групп с указанием категории прочности выполняют в зависимости от проводимых испытаний и условий комплектования партии заготовок:

- группа I – поковки без механических испытаний одной или разных марок стали;
- группа II – испытываемые на твердость поковки одной марки стали, прошедшие совместную термообработку;
- группа III – испытываемые на твердость поковки одной марки стали, прошедшие термообработку по одному режиму;
- группа IV – испытываемые на растяжение, ударную вязкость и твердость поковки стали одной плавки, совместно прошедшие термообработку;
- группа V – индивидуальные поковки, испытываемые на растяжение, ударную вязкость и твердость.

Согласно ГОСТу поковки IV и V групп в соответствии с механическими свойствами разделяют на 16 категорий прочности (КП) с указанием предела текучести в МПа, например КП 195 . Примеры условного обозначения поковок:

группа I Гр. I ГОСТ 8479–70;

группы II (III) Гр. II (III) НВ 143-179 ГОСТ 8479–70;

группы IV (V) Гр. IV (V) КП 490 ГОСТ 8479–70.

При необходимости в обозначении поковок указывают также временное сопротивление $\sigma_b \geq 655$ (например, не менее 655 МПа), относительное удлинение $\delta_5 \geq 14$ (например, не менее 14 %), ударную вязкость $KCU \geq 64$ (например, не менее 64 Дж/м² × 10⁴), в результате обозначение имеет вид:

Гр. IV - КП 490 - $\sigma_b \geq 655$ - $\delta_5 \geq 14$ - $KCU \geq 64$ ГОСТ 8479-70.

На рис. 8.6 в качестве примера представлен чертеж поковки для детали типа крышка. Линейные и угловые размеры на чертеже поковки образуются путем добавления к номинальным размерам детали припусков на механическую обработку и кузнечных напусков. На чертеже указывают также предельные допустимые отклонения размеров и формы поковки.

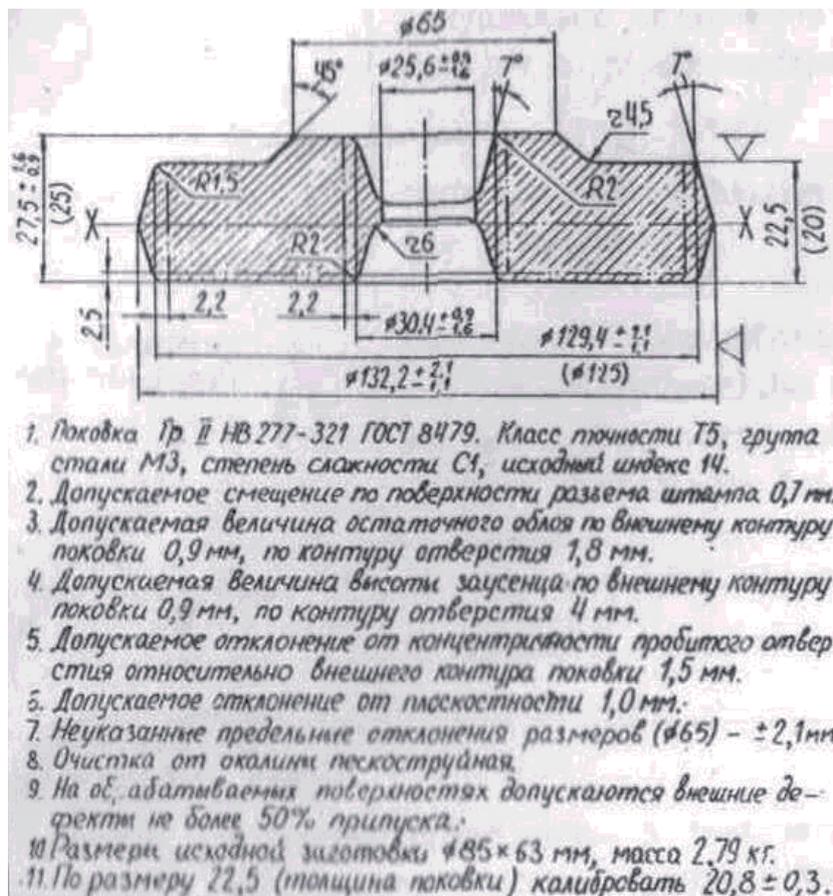


Рис. 8.6. Чертеж поковки детали типа «крышка»

Поковку необходимо изображать в положении, которое она занимает в штампе. Контуры детали вычерчивают внутри поковки тонкой штрихопунктирной линией с одной или двумя точками. Размеры детали проставляют частично под размерами поковки в круглых скобках. Базы, используемые на первых операциях механообработки, указывают специальными знаками. Плоскость разреза формообразующих поверхностей штампа изображают тонкой штрихопунктирной линией, обозначенной на концах знаками X-X.

Технические требования, предъявляемые к поковке, располагают над основной надписью чертежа в порядке, указанном в табл. 8.10.

Технические требования, предъявляемые к поковке

Вид требования	Значения параметров
Характеристики поковки	Группа поковки I...IV: класс точности Т1...Т5; группа стали М1...М3; степень сложности С1...С4; исходный индекс (ИН) ...
Допускаемые отклонения формы и расположения поверхностей	Смещение поверхности разъема штампа...мм. Величина остаточного облоя: по внешнему контуру...мм; по контуру отверстия ...мм Отклонение от концентричности пробитого отверстия и внешнего контура...мм Изогнутость и отклонения от плоскостности...мм
Неуказанные предельные отклонения размеров	Неуказанные предельные отклонения размеров
Требования к качеству поверхности поковки	Очистка от окалины (пескоструйная или дробеструйная)
Размеры и масса исходной заготовки	Размеры исходной заготовки: Ф...мм, Н...мм, масса ...кг

Для автоматизации расчета припусков на заготовках-поковках в Московском государственном горном университете разработана программа «Припуски и кузнечные напуски», позволяющая пользователю в диалоге с ЭВМ определить по рекомендациям ГОСТа припуски, размеры заготовок поковок и параметры их геометрической точности.

На рис. 8.7 приведено первое диалоговое окно, согласно которому работа программы начинается с ввода требуемых исходных данных. После ввода своих персональных данных (ФИО) пользователь указывает наименование детали, ее массу, материал, процентное содержание углерода и легирующих элементов. Затем на основе рассмотрения чертежа вводятся основные геометрические параметры детали, для которой осуществляется выбор заготовки-поковки (рис. 8.7, а). В следующем диалоговом окне (рис. 8.7, б) приводится состав оборудования, из которого пользователь выбирает кузнечно-прессовое оборудование, на котором будет изготавливаться заготовка, а также оборудование для нагрева исходной заготовки.

В следующем окне (рис. 8.8) пользователь по запросу компьютера, используя приводимую в диалоговом окне информацию, вводит исходные данные, определяющие сложность поковки, ее геометрию и ха-

Form1

Ввод исходных данных

Данные о студенте

Фамилия

Группа

Деталь

Наименование

Масса детали, кг

Материал детали

Содержание углерода, %

Содержание легирующих элементов, %

1. Кривошипные горячештамповочные прессы

1. Кривошипные горячештамповочные прессы

2. Горизонтально-ковочные машины

3. Прессы винтовые, гидравлические

4. Горячештамповочные автоматы

5. Штамповочные молоты

6. Калибровка обычная (горячая и холодная)

7. Прецизионная штамповка

Для определения припусков нажмите эту клавишу

Для определения степени сложности поковки нажмите эту клавишу

a)

Form1

Ввод исходных данных

Данные о студенте

Фамилия

Группа

Деталь

Наименование

Масса детали, кг

Материал детали

Содержание углерода, %

Содержание легирующих элементов, %

1. Кривошипные горячештамповочные прессы

1. В печи

1. Плоская

Характеристика детали

1. Детали удлиненной формы с прямой осью(валы, оси)

2. Детали удлиненной формы с изогнутой осью

3. Шестерни, ступицы, фланцы (круглые детали)

4. Фланцы, ступицы, гайки (многогранные детали)

5. Крестовины, вилки

6. Коленчатые валы, кулаки поворотные

7. Буксирные крюки, балки (детали с большим объемом необрабатываемых поверхностей)

8. Полые валы, блок-шестерни (детали с углублением, отверстиями не оформленными в поковке)

b)

Рис. 8.7. Диалоговое окно для ввода исходных данных: а – детали; б – оборудования, применяемого для изготовления заготовки

характеристику размеров, а затем выбирает один из пяти классов точности поковки Т1...Т5.

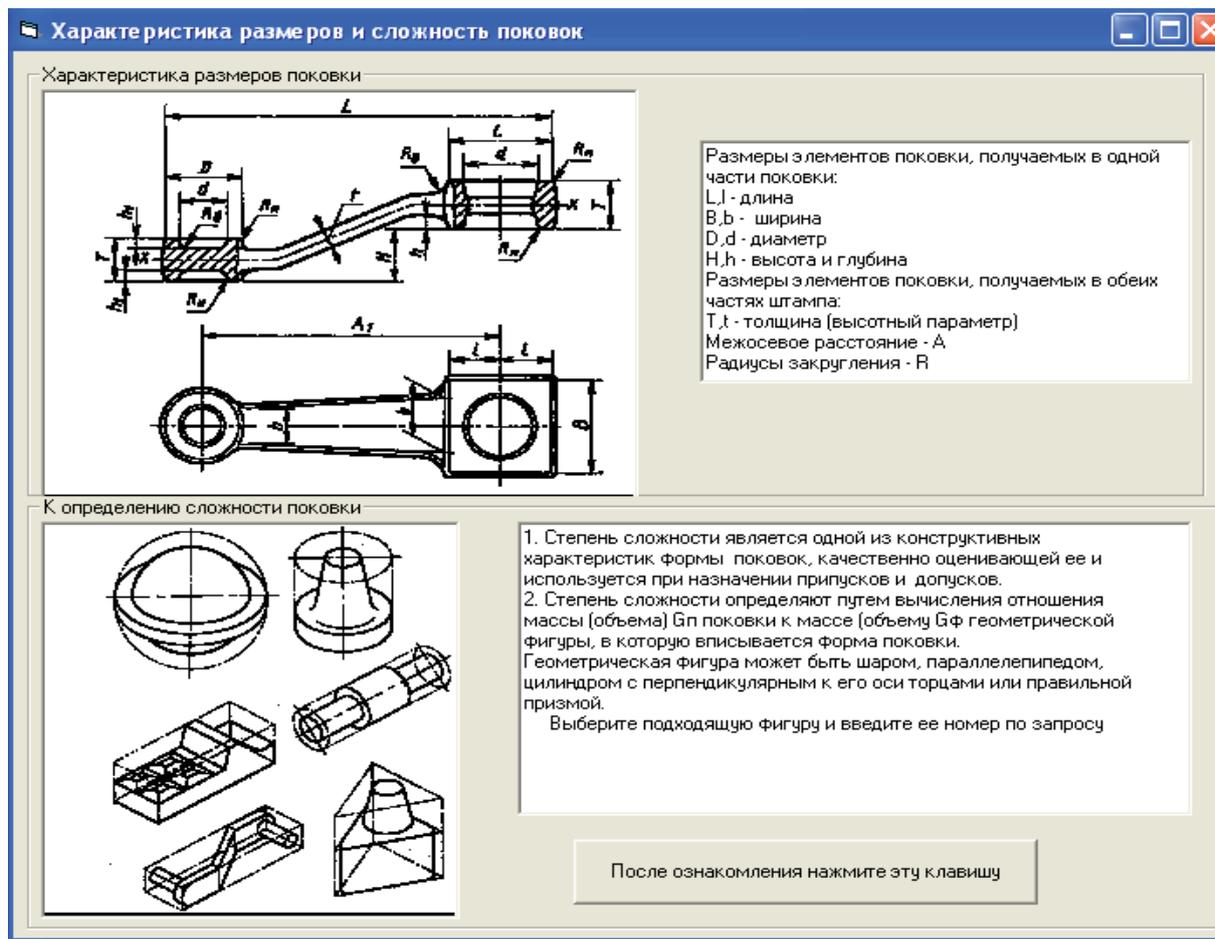


Рис. 8.8. Диалоговое окно для данных, определяющих сложность поковки, ее геометрию, характеристику размеров и класс точности

После выбора охватывающей геометрической фигуры и задания ее размеров – диаметра и высоты цилиндра, вида поверхности (наружная, внутренняя) – задают количество размеров, на которые определяются припуски. После задания шероховатости поверхности заготовки и наибольшей глубины размера в штампе на экран выводятся результаты расчета (рис. 8.9), которые могут быть получены также в виде распечатки.

Помимо этого на экран выводится форма 4, представленная на рис. 8.10, в которой также приводятся результаты расчета таких параметров, как масса заготовки, степень сложности поковки, ее исходный индекс, группа стали, кузнечные припуски и напуски, а также параметры ее геометрической точности – отклонения от плоскостности и возможные смещения поверхностей разреза штампа.

Form4

ВНИМАНИЕ! Результаты расчетов будут сохранены в файле

Рекомендуемый класс точности поковки: 4,5 | Выбранный класс точности: 4 | Группа стали: 2

Масса заготовки, кг: 2 | Для определения степени сложности поковки нажмите эту клавишу

Описывающая фигура: | Наибольшая толщина поковки, мм: 100

Диаметр, мм: 105 | Масса фигуры, кг: 7,09173308144317

Высота, мм: 105 | Отношение Gп/Gф: 0,282018510430598

Степень сложности поковки: 3

Исходный индекс: 13

Количество размеров, на которые необходимо определить припуски: 5

4 2 | 2 1 1 | I3_250.DAT | Наибольший размер детали, мм: 100

Кузнечные припуски и напуски

№ п/п	Размер, мм	Rz(Ra), мкм	Основной прип.	Размер поков.	ES, мм	EI, мм
1	200	10	2,3	205,4	2,1	-
2	200	10	2,3	205,4	2,1	-
3	200	10	2,3	205,4	2,1	-
4	200	10	2,3	205,4	2,1	-
5	200	10	2,3	205,4	2,1	-

Дополнительные припуски

Отклонение от плоскостности, мм: 0,3

Смещение по поверхности разреза штампа, мм: 0,4

Рис. 8.9. Вывод результатов расчета на экран

Form3

Данные о студенте
 Фамилия: Радкевич
 Группа: Радке.гар

Сведения о детали
 Наименование детали: |
 Материал детали: 20Х2Н4А
 Масса детали, кг: 25
 Содержание углерода, %: 0,2
 Суммарное содержание легирующих элементов, %: 5

Деформирующее оборудование
 Кривошипные горячештамповочные прессы

Сведения о поковке
 Масса поковки, кг: 2 | Коэффициент Кр: 0
 Класс точности поковки: 4 | Группа стали: 2
 Степень сложности поковки: 3
 Исходный индекс: 13
 Способ нагрева заготовки: В печи

Описывающая фигура и ее размеры в мм
 Цилиндр
 Диаметр, мм: 105 | Высота, мм: 105
 Масса фигуры, кг: 7,0917330 | Gп/Gф: 0,2820185
 Конфигурация разреза: П

Припуски и кузнечные напуски

№ п/п	Размер, мм	Rz(Ra), мкм	Основной припуск, мм	Размер поковки, мм	ES, мм	EI, мм
1	200	10	2,3	205,4	2,1	-1,1
2	200	10	2,3	205,4	2,1	-1,1
3	200	10	2,3	205,4	2,1	-1,1
4	200	10	2,3	205,4	2,1	-1,1
5	200	10	2,3	205,4	2,1	-1,1

Дополнительные припуски, учитывающие

-отклонение от плоскостности, мм: 0,3

-смещение по поверхности разреза штампа, мм: 0,4

Допускаемая величина остаточного облоя, мм: 0,9

Допускаемая величина высоты заусенца, мм: 3

Допускаемы отклонения:

-от плоскостности, мм: 0,6

-от концентричности пробитого отверстия относительно внешнего контура, мм: 0,8

-по поверхности разреза штампа, мм: 0,6

Штамповочные уклоны

по наружной поверхности, град., не более: |

по внутренней поверхности, град., не более: |

Минимальный радиус закругления наружных углов, мм: 2,5

Рис. 8.10. Результаты расчета параметров выбранной заготовки

8.6. Заготовки, получаемые сваркой и комбинированными методами

Сварные заготовки для широкого спектра деталей машин обычно применяют в условиях единичного и мелкосерийного производства, когда изготовление необходимого литейного комплекта или штампо-

вочной оснастки экономически нецелесообразно. Сварные заготовки получают путем соединения сваркой комплекта предварительно подготовленных отдельных деталей, определяющих в целом геометрическую форму требуемой заготовки. На рис. 8.11 для примера представлены сварные заготовки корпуса червячного редуктора, зубчатого колеса и шкива, которые составлены из различных по геометрии деталей, в местах соединения которых расположены сварные швы, показанные стрелками.

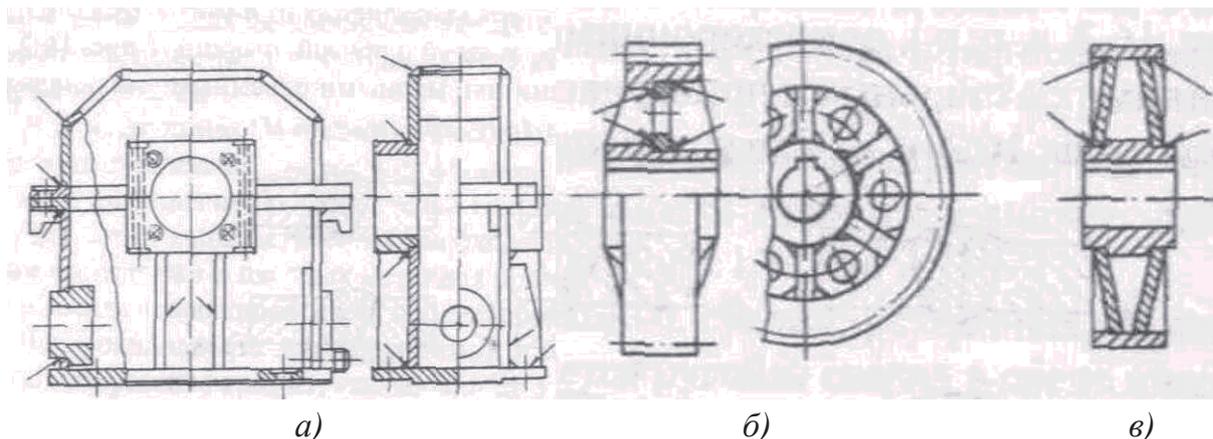


Рис. 8.11. Сварные заготовки: *а* – корпуса червячного редуктора; *б* – зубчатого колеса; *в* – шкива

В качестве исходного материала для получения сварных заготовок станин, рам, корпусов, плит, кронштейнов применяют листовой прокат стали Ст3...Ст5 различной толщины (4...15 мм и более). Стальные листы размечают на прямоугольники, квадраты, треугольники (косынки), бобышки требуемых размеров, а затем разрезают по разметке или по шаблонам с помощью газовых или электрических резаков. Резка деталей из листа может выполняться также на прессножницах, гильотинных и дисковых ножницах. Необходимые детали круглой, квадратной, шестигранной или кольцевой формы получают путем мерной отрезки соответствующего проката или трубы. В современном автоматизированном производстве применяют автоматический раскрой с использованием компьютера и автоматическую резку листа на установках для лазерной, микроплазменной или газопламенной резки.

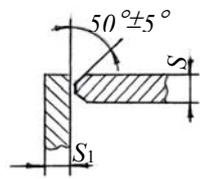
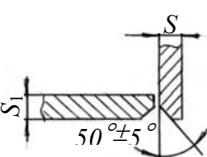
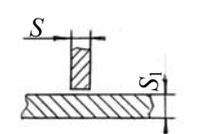
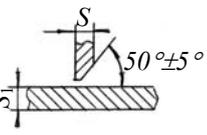
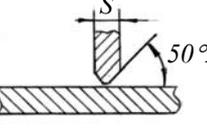
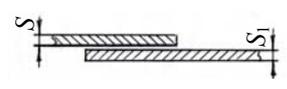
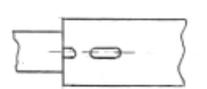
Подготовленные детали поступают в механические цеха, где выполняют их обработку по контуру на строгальных, фрезерных или токарных станках для создания требуемой геометрии сварных швов, обеспечивающих получение надежных сварных соединений (табл. 8.11).

Таблица 8.11

Типы сварных соединений по ГОСТ 2601–74

Вид соединения	Толщина листа S , мм	Эскиз
1	2	3
Стыковые соединения		
С отбортовкой двух кромок	1 – 3	
Без скоса кромок	1 – 6	
Со скосом одной кромки	4 – 26	
С двумя симметричными скосами одной кромки	12 – 60	
Со скосом двух кромок	8 – 50	
С криволинейным скосом двух кромок	15 – 100	
С двумя симметричными скосами двух кромок	12 – 60	
С двумя симметричными скосами двух кромок	30 – 100	
Угловые соединения		
Без скоса кромок	1 – 6	
Со скосом одной кромки	4 – 26	

Окончание табл. 8.11

Вид соединения	Толщина листа S , мм	Эскиз
1	2	3
С двумя скосами одной кромки	12 – 60	
Со скосом двух кромок	12 – 50	
Тавровые соединения		
Без скоса кромок	2 – 20	
Со скосом одной кромки	4 – 30	
С двумя скосами одной кромки	12 – 60	
Соединение внахлестку		
Без скоса кромок		
С удлиненным отверстием		

При сварке встык элементов различной толщины (см. табл. 8.11) наибольшая допустимая разность ($S_1 - S$) согласно ГОСТ 5264–80 зависит от толщины тонкого элемента:

S , мм	до 3	4 – 8	9 – 11	12 – 25	25
$S_1 - S$, мм	0,7	1,6	4	5	7

При разности толщины, превышающей указанные пределы, на толстом элементе делают пологий скос длиной $L = 5(S_1 - S)$ для одностороннего скоса и $L = 2,5(S_1 - S)$ – для двустороннего. Допускается смещение свариваемых кромок в зависимости от толщины свариваемых элементов: 0,5 мм – для $S \leq 4$ мм; 1 мм – для $S = 4 \dots 10$ мм; $0,1S$ – для $S > 10$ мм.

Использование современных установок лазерной и газопламенной резки с компьютерными системами ЧПУ (CNC), обеспечивающими точность позиционирования $\pm 0,1$ мм, позволяет до минимума уменьшить припуски под отделку сварных швов, а в ряде случаев вообще исключить необходимость механической обработки контура свариваемых деталей.

Подготовленные для сварки детали собирают в единую конструкцию, для чего используют струбцины и специальные сборочные приспособления, обеспечивающие требуемую ориентацию соединяемых деталей. После этого выполняют сварку. Детали соединяют главным образом ручной электродуговой сваркой, газовую сварку используют значительно реже. Для ручной дуговой сварки выбирают диаметр электрода d_3 в соответствии с толщиной свариваемого материала S :

S , мм	1 – 2	3 – 5	4 – 10	12 – 24	30 – 60
d_3 , мм	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6	5 – 8

В зависимости от диаметра электрода определяют необходимую силу тока $I_{св}$, используя для электродов диаметром 3...6 мм зависимость

$$I_{св} = (20 + 6d_3) \cdot d_3.$$

В процессе сварки имеет место концентрация внутренних напряжений, поводка и коробление получаемых заготовок. Для уменьшения этого предусматривают низкотемпературный отжиг в печах или наложение специальных сварных швов (местный нагрев, обеспечивающий уравнивание поводок).

В зависимости от расположения швы делятся на односторонние и двусторонние, сплошные и прерывистые, а по положению в простран-

стве – на нижние, вертикальные, горизонтальные, потолочные. Основные типы, конструктивные элементы, размеры и условные обозначения сварных соединений стандартизованы [31].

Чертежи сварных деталей (заготовок) оформляют как сборочные чертежи и при анализе конструкторской документации следует руководствоваться ГОСТ 2.312–72.

При точечной сварке видимую одиночную свар-

ную точку изображают знаком «+» с указанием стрелкой (рис. 8.12, а), невидимые точки не изображают. При изображении сечения многопроходного шва допускается выносить контуры отдельных проходов, которые обозначают прописными буквами русского алфавита (рис. 8.12, б). Нестандартные швы изображают с конструктивными элементами кромок в границах шва, которые обозначают сплошными тонкими линиями, и с указанием размеров конструктивных элементов (рис. 8.12, в).

Независимо от способа сварки сварные швы на чертеже соединения изображают: видимые – сплошной основной линией; невидимые – штриховой линией. Положение шва указывает выносная линия со стрелкой.

Условное обозначение лицевого стандартного шва наносят над полкой линии-выноски, а оборотного шва – под линией полки-выноски (рис. 8.13).

Лицевой стороной считают: для одностороннего шва – сторону, с которой производится сварка; для двустороннего шва –

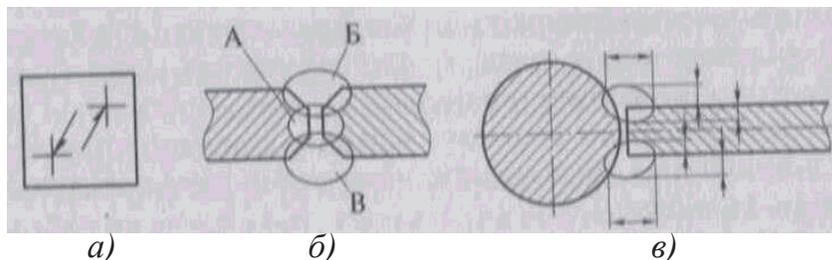


Рис. 8.12. Схемы обозначения сварных швов в соединениях: а – любого стандартного; б – многопроходного; в – нестандартного

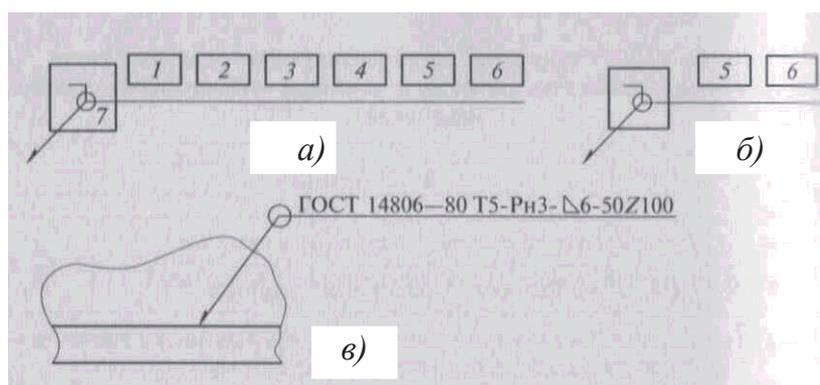


Рис. 8.13. Форматы записи при обозначении сварных швов: а – стандартного; б – нестандартного; в – пример обозначения

сторону, с которой производится сварка основного шва (если подготовка несимметричная); для двустороннего шва (при симметричной подготовке) – любую сторону.

Форматы записей условного обозначения стандартного и нестандартного швов приведены на рис. 8.13. Позиции условного обозначения шва (см. рис. 8.13, *а, в*) включают:

1 – обозначение стандарта, определяющего типы и конструктивные элементы швов сварных соединений;

2 – буквенно-цифровое обозначение шва согласно стандарту;

3 – условное обозначение способа сварки (допускается не указывать);

4 – знак Δ и размер катета по стандарту;

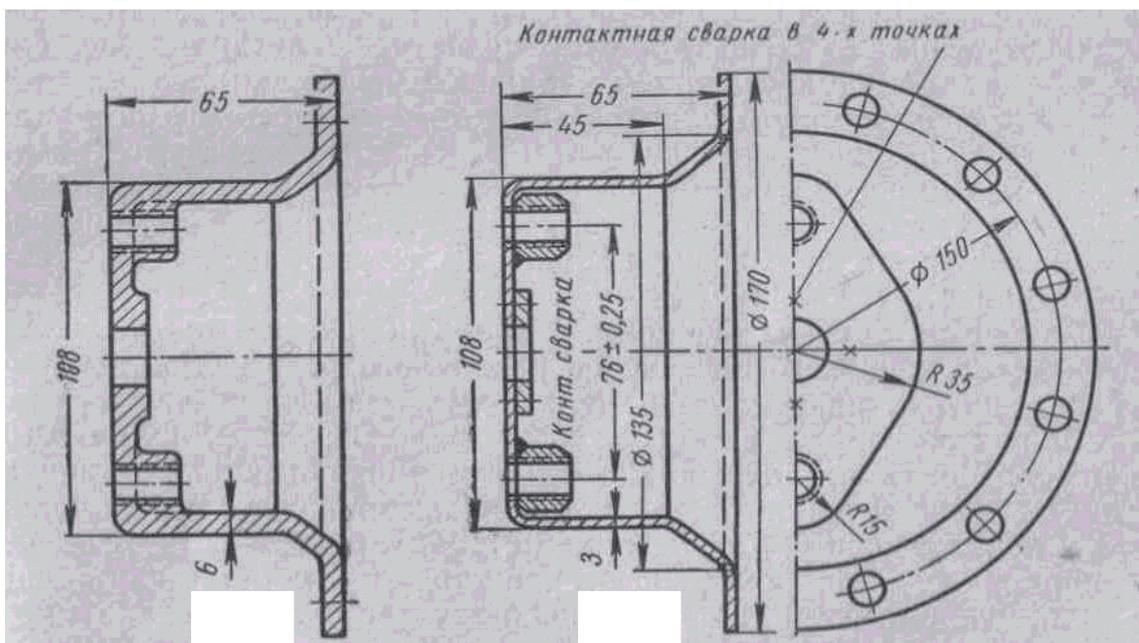
5 – для прерывистого шва – длина провариваемого участка; для одиночной сварной точки – расчетный диаметр точки;

6 – обозначение вспомогательных знаков, указывающих на замкнутость линии шва, необходимость усиления или обработки шва;

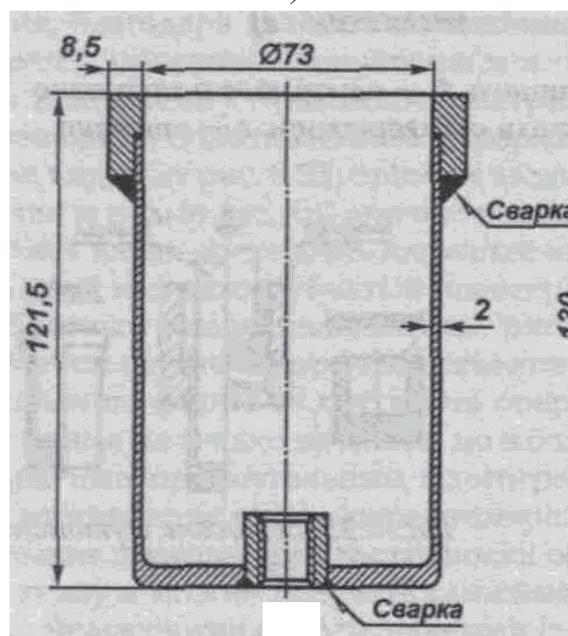
7 – обозначение вспомогательных знаков, указывающих замкнутую линию шва и выполнение его при монтаже изделия [31].

Если согласно технологии предусматривается механическая обработка шва, то после вспомогательных знаков указывают шероховатость поверхности шва.

Для достижения существенной экономии металла во многих случаях применяют комбинированные методы получения заготовок. Комбинированным методом получают штампо-сварные и лито-сварные заготовки, у которых отдельные элементы конструкции, полученные штамповкой, литьем или механообработкой, сваривают в единое целое. На рис. 8.14. приведены штампо-сварные заготовки тормозного барабана и корпуса топливного фильтра. У тормозного барабана к штампованному корпусу с малой толщиной стенки привариваются бобышки под резьбу, а у корпуса топливного фильтра к стакану, полученному объемной штамповкой, приваривают кольцо, получаемое механической обработкой.



а)



б)

Рис. 8.14. Штампо-сварные заготовки: а – тормозного барабана; б – корпуса топливного фильтра

8.7. Получение заготовок и изделий методом порошковой металлургии

Методами порошковой металлургии создают заготовки и изделия из металлических порошков и их смесей (композиционные материалы), которые могут включать также неметаллические составляющие.

При этом основной компонент порошков в процессе изготовления изделий не доводится до расплавления.

Порошковая металлургия характеризуется высокой технической и экономической эффективностью. Она позволяет получать материалы с особыми физико-химическими и механическими свойствами – жаропрочные, коррозионно-стойкие, с повышенными фрикционными свойствами, которые, в ряде случаев, нельзя получить никаким другим методом. Представляется возможным получать детали с неравномерным распределением их физических свойств, обеспечивая усиление участков, подверженных действию наибольших нагрузок. При этом получаемые детали имеют точную геометрическую форму, что позволяет в 2-5 раз снизить трудоемкость их механообработки и в 1,5-2 раза уменьшить себестоимость.

Технология изготовления изделий этим методом включает операции:

- 1) получение необходимых металлических порошков;
- 2) формовка изделий из порошков;
- 3) спекание полученных изделий до достижения требуемой твердости;
- 4) отделка отдельных поверхностей деталей механическим методом.

Металлические порошки получают механическим методом, физико-химическим и химическим методами, а также методом гранулирования, когда капли металла, попадая в воду, гранулируются в мелкие частицы. Размеры получаемых крупниц порошка обычно составляют от 0,1 мкм до 0,1 мм. Промышленное применение нашли механические и физико-химические методы получения порошков. Механические методы не изменяют химический состав исходных материалов при превращении их в порошки. К этим методам относятся дробление, размол или истирание твердых веществ. С этой целью применяют различное дробильно-измельчительное оборудование: дробилки, вращающиеся шаровые мельницы, а также вибрационные, планетарные, центробежные, вихревые и молотковые мельницы.

Физико-химические методы являются более универсальными, они связаны с изменением химического состава или состояния исходного сырья. Эти методы экономичны, так как позволяют использовать дешевое сырье – отходы производства в виде окалина, различных оксидов и другое. К ним относятся методы восстановления оксидов, позволяющие получать порошки железа, вольфрама, молибдена, кобальта, никеля, меди; методы осаждения металлического порошка, используемые

для получения меди, никеля, кобальта; методы электролитического получения металлических порошков, а также методы разложения легколетучих соединений металлов.

Полученные порошки подвергают дополнительной термической обработке – отжигу, который проводится в защитной или восстановительной атмосферах. В результате происходит восстановление оксидов, удаление части примесей и устранение наклепа, образуемого при измельчении исходных материалов.

С целью облегчения технологической переработки в порошки вводят специальные добавки – пластификаторы, легкоплавкие материалы, летучие вещества и др. Подготовленные смеси тщательно перемешивают, а перед формованием проводят дегазацию порошка, что позволяет удалить газ с поверхности частиц порошков и из занимаемого объема смесителей.

Для прессования порошков используют:

- 1) холодное прессование в специальных пресс-формах, имеющих требуемую геометрию;
- 2) горячее прессование при подогреве формы; при этом процессы спекания и прессования совмещены;
- 3) специальные методы прессования: взрывное, электрогидравлическое, электромагнитное, пневмомеханическое, вибрационное;
- 4) прессование путем проката.

В результате прессования происходит уплотнение порошка и усиление контакта между частицами, что приводит к деформации и разрушению отдельных частиц. При этом возможно неравномерное распределение давления по высоте брикета, что влечет за собой снижение качества изделия. Заготовка, полученная после прессования, имеет остаточные напряжения и несколько увеличенные размеры, что необходимо учитывать при необходимости изготовления качественных и точных изделий.

Горячее прессование выполняется в тех случаях, когда по технологии требуется поддержание рабочей температуры, равной в среднем 0,7 температуры плавления порошка. Оно применяется для однородных плохо прессуемых и спекаемых материалов с высокой плотностью и прочностью.

Специальные методы прессования в пресс-формах обеспечивают создание импульсных нагрузок. Для получения изделий повышенной

плотности с высокой точностью размеров и хорошим качеством поверхности применяют динамическое горячее прессование, которое является разновидностью пневмомеханического формования. При этом порошок прессуется дважды: предварительно при комнатной температуре, а затем после нагрева окончательно прессуется динамической нагрузкой.

В процессе прокатки порошок из бункера подается в зазор между вращающимися валками, в результате получают однородный или многослойный прокат. Для химически активных порошков титана, тантала, циркония и других металлов прокатку проводят в вакууме или защитных средах. Таким методом изготавливают различные профили и проволоку, а также ленты толщиной 0,02...3 мм и шириной до 300 мм.

Прутки различных профилей, а также трубы из трудно прессуемых тугоплавких материалов получают выдавливанием. При этом в порошок добавляют специальный пластификатор, позволяющий улучшить сцепление частиц и уменьшить их трение о пресс-форму.

Важной операцией является спекание полученных изделий. Температура спекания обычно составляет 0,7...0,9 температуры плавления легкоплавкого компонента. Для заготовок из конструкционных материалов на основе железа температура спекания составляет 1100...1200 °С, а для изделий на основе бронзы – 850...900 °С.

Операция спекания выполняется в электропечах, где продолжительность выдержки составляет от нескольких минут до часов. При этом необходимо обеспечить соблюдение требуемого режима температуры и времени выдержки, так как их превышение может вызвать рост зерна материала и, как следствие, ухудшение механических свойств изделия.

С целью восстановления поверхностных оксидов при спекании создают восстановительные атмосферы, а для химически активных металлов применяют защитные атмосферы с использованием азота, аргона и др. Применяют также различные защитные засыпки (кварцевый песок, оксид алюминия, графитовую крошку и др.), обеспечивающие изоляцию спекаемого изделия от окружающей атмосферы. Осуществляют также спекание в вакууме. Это защищает компоненты от воздействия воздуха и способствует удалению из материалов газов и летучих примесей.

Для улучшения контакта между частицами и создания при спека-

нии более плотного, практически беспористого изделия в ряде случаев используют жидкую фазу. Эту фазу получают за счет расплавления легкоплавкого компонента, которым пропитывают спрессованную пористую массу из тугоплавкого металла. Так, например, для пропитывания карбида титана используют сталь, а для вольфрама применяют медь.

Для получения необходимых свойств заготовки, полученные после спекания, могут проходить дополнительную обработку. Так, например, для обеспечения требуемой структуры материала, снижения твердости и выравнивания химического состава назначают отжиг, проводимый в защитной атмосфере. С целью повышения износостойкости рабочих поверхностей изделия выполняют такие термические операции, как науглероживание, азотирование, цианирование поверхностных слоев. В свою очередь, такие операции, как оксидирование, хромирование и никелирование позволяют защитить пористые поверхности детали от воздействия коррозии.

В зависимости от степени прессования и спекания порошковые спеченные материалы подразделяют на пористые (10...30 % пор) и компактные (1...3 % пор). Пористые материалы применяют для создания изделий с антифрикционными и фрикционными свойствами – тормозных накладок, подшипниковых втулок, фильтров, направляющих штоков, и др. Антифрикционные материалы имеют низкий коэффициент трения, хорошую износостойкость и способность быстро прирабатываться в соединении. Наличие в материале специальных компонентов, снижающих коэффициент трения, позволяет им работать без принудительной смазки.

Фильтры из порошковых материалов благодаря создаваемой необходимой пористости обладают высокой проницаемостью для жидкостей и газов. Они просты по конструкции, имеют достаточную прочность, способны восстанавливать свои свойства, обеспечивая достаточно тонкую фильтрацию.

Электротехнические порошковые материалы, создаваемые на основе цветных металлов, обладают высокой тепло- и электропроводностью, коррозионной стойкостью, они немагнитны и хорошо обрабатываются резанием и давлением. Эти материалы нашли широкое применение в приборостроении и электротехнической промышленности.

Компактные материалы применяют для изготовления широкого спектра деталей – корпусов кранов и подшипников, зубчатых колес, ку-

лачков, поршней и др. Методом порошковой металлургии изготавливают различные детали и готовые изделия, получение которых другими методами не представляется возможным.

Таковыми изделиями являются:

- специальные антифрикционные втулочные подшипники, которые имеют пористость порядка 15 – 30 %. Материал таких подшипников изготавливают из железного графита или бронзового графита; создают также металлофторопластовые подшипники;
- твердосплавные пластины различной геометрии и марок сплава для режущих инструментов;
- изделия из металлокерамики;
- высокопористые фильтры и другое.

Обозначение порошковых конструкционных сталей выполняют согласно ГОСТ 28378–79 маркировкой, в которой первые две буквы ПК обозначают – порошковая конструкционная, а остальные буквы и цифры – процентное содержание легирующих компонентов. Так, например: ПК40Н2Д2-6,4 – сталь порошковая конструкционная, содержащая 0,4 % углерода (С), 2 % никеля (Н), 2 % меди (Д), минимальная плотность 6,4 г/см³. С увеличением плотности механические свойства порошковой стали возрастают.

В обозначении порошковых сплавов на основе цветных металлов первые две буквы обозначают класс материала: Ал – алюминий, Бр – бронза, Л – латунь, например АлПЖ12-4, БрПО10-2, ЛП58Г2-2. Вторая буква П обозначает порошковый материал, после которой идут буквы и цифры, определяющие содержание легирующих компонентов: Ж – железо, Г – марганец, Мг – магний, С – кремний, Св – свинец, Ц – цинк, Д – медь, Н – никель, О – олово, М – молибден, П – фосфор, Ср – серебро, Ф – ванадий, Х – хром, Цр – цирконий. Цифра после дефиса обозначает подгруппу плотности материала.

В табл. 8.12. приведены механические свойства отдельных порошковых конструкционных материалов (временное сопротивление $\sigma_{\text{в}}$, твердость НВ, относительное удлинение δ , ударная вязкость КСЧ) и примеры их применения для изготовления деталей машин и приборов [28].

Таким образом, порошковая металлургия позволяет создавать различные изделия и получать принципиально новые материалы. Точность размеров и шероховатость поверхностей заготовок, получаемых при этом методе, позволяют значительно сократить состав тех-

нологических операций на последующей механической обработке, а в ряде случаев необходимость дальнейшей механической обработки вообще отпадает. На тонны изделий порошковой металлургии имеет место значительная экономия дорогостоящих материалов и затрачиваемых средств. Рассмотренная технология позволяет до 10 раз повысить производительность обработки и от 1 до 5 % сократить отходы производства. Расчеты показывают, что изготовление десяти тысяч тонн изделий из металлических порошков высвобождает порядка 2 тыс. производственных рабочих, 1 тыс. металлорежущих станков и обеспечивает экономию 20 тыс. т. стального проката.

Таблица 8.12

Механические свойства и примеры применения отдельных порошковых конструкционных материалов

Марка материала	Механические свойства				Область применения
	σ_B , МПа	НВ, МПа	δ , %	КСУ, МДж/м ²	
ПК10-6,4*	140	500	3	0,15	Малонагруженные детали – крышки, втулки, шайбы
ПКЮДЗ-6,8*	240	750	3	0,2	
ПК70ДЗ-74**	360	1000	10	0,6	Средненагруженные, износостойкие детали – рычаги, пальцы, крышки
ПК40Г2-7,1***	350	1600	4	0,25	Износостойкие детали, подвергающиеся ударным нагрузкам
ПК40Н2М-7,6***	580	1800	6	0,3	Тяжелонагруженные детали – зубчатые колеса, оси, вилки
ПК10Н4Д4-6,4***	650	2000	8	0,55	Тяжелонагруженные детали при циклических ударных воздействиях
АлПМГб-4	300	450	15	0,15	Детали приборов
БрПОЮ-4	250	900	15	0,15	Гайки, втулки подшипников, фильтры
ТПАл2М-4	600	1300	8	0,1	Шестерни, лопатки турбин
*Химико-термическая обработка; **закалка, отпуск; *** самозакаливающаяся сталь					

Однако стоимость порошковых материалов в 1,5...3,5 раза выше стоимости обычных конструкционных материалов, поэтому эффективность их применения становится возможной в условиях крупносерийного и массового производств.

Вопросы для самопроверки

1. Что следует понимать под заготовкой?
2. Назовите основные способы получения заготовок.
3. Какие факторы необходимо учитывать при выборе способа получения заготовки?
4. В чем заключается сущность получения заготовок-отливок?
5. Какие основные способы получения заготовок-отливок вы знаете?
6. С какой целью изготавливают модельный комплект?
7. Назовите основные элементы литниковой системы.
8. В чем заключается сущность литья в оболочковые формы?
9. В чем заключается сущность литья по выплавляемым моделям?
10. В условиях какого производства заготовки получают путем литья в кокиль?
11. Какие заготовки получают путем центробежного литья?
12. Приведите пример условного обозначения точности отливок.
13. В чем заключается сущность получения заготовок путем обработки металла давлением?
14. Какие основные способы получения заготовок давлением Вы знаете?
15. Назовите основные изделия прокатного производства.
16. Для каких деталей и в условиях какого производства заготовки получают свободной ковкой?
17. В чем заключается сущность получения заготовок штамповкой?
18. В условиях какого производства заготовки получают путем штамповки?
19. В чем заключается различие штамповки в открытых, закрытых и подкладных штампах?
20. С какой целью выполняют калибровку заготовок штамповок?
21. В чем заключается сущность получения заготовок объемной листовой штамповкой?
22. Приведите пример условного обозначения поковок в технических требованиях на чертежах.

Глава 9. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИН

9.1. Временные связи в производственном процессе

Трудоемкость изготовления изделия определяют на основе выявления и расчета временных связей в производственном процессе.

Время, затрачиваемое на операцию, называемое штучно-калькуляционным, определяют по формуле

$$t_{шт.к} = \frac{T_{пз}}{n} + t_{шт}, \quad (9.1)$$

где $T_{пз}$ – подготовительно-заключительное время, которое затрачивается на совокупность работ связанных с подготовкой изготовления партии деталей;

n – количество деталей в партии (штук);

$t_{шт}$ – штучное время, которое непосредственно затрачивается на изготовление одной детали.

Подготовительно-заключительное время включает в себя следующие составляющие:

$$T_{пз} = t_{ч} + t_{и} + t_{о} + t_{с}, \quad (9.2)$$

где $t_{ч}$ – время, затрачиваемое на чтение чертежей и ознакомление с задачей;

$t_{и}$ – время, затрачиваемое на получение и установку инструмента, приспособлений;

$t_{о}$ – время, затрачиваемое на настройку оборудования;

$t_{с}$ – время, затрачиваемое на размерную и статическую настройку оборудования.

В свою очередь, штучное время $t_{шт}$ представляет собой время, затрачиваемое на выполнение данной операции. Оно определяется как сумма четырех составляющих:

$$t_{шт} = t_{от} + t_{в} + t_{об} + t_{д}, \quad (9.3)$$

где $t_{от}$ – основное технологическое время;

$t_{в}$ – вспомогательное время;

$t_{об}$ – время на обслуживание рабочего места;

$t_{д}$ – время на отдых и дополнительные надобности.

Основное технологическое время непосредственно затрачивается на изменения размеров и формы заготовки, которые происходят при механообработке. В процессе сборки $t_{от}$ – это время, которое затрачивается на изменение относительного положения детали. Если эти изменения осуществляются с помощью машин, например станков-полуавтоматов, автоматов или промышленных роботов, то основное технологическое время называется *машинным*:

$$t_{от} = T_{маш}.$$

Если же эти изменения осуществляются непосредственно человеком, как, например, при выполнении слесарных работ в процессе ручной сборки, то основное технологическое время называется *ручным*. При выполнении переходов, выполняемых оборудованием с непосредственным участием рабочего, основное технологическое время называется *машинно-ручным*.

Вспомогательное время затрачивается на приемы и переходы, сопутствующие выполнению основных технологических переходов. К ним относят установку и съём заготовки, пуск и останов станка, подвод и отвод инструмента, выполнение измерений, удаление стружки и пр.

Сумма затрат основного и вспомогательного времени представляет собой *оперативное* время:

$$t_{оп} = t_{от} + t_{в}. \quad (9.4)$$

Время на обслуживание рабочего места затрачивается на уход за рабочим местом с целью поддержания его в требуемом состоянии. Различают техническое и организационное обслуживание. Организационное обслуживание включает выполнение таких работ, как удаление стружки, смазка направляющих станка, приведение в порядок рабочего места. Техническое обслуживание предусматривает выполнение поднастройки технологической системы, замену затупившегося инструмента.

При укрупненном определении затрат штучного времени время на обслуживание, время на отдых и дополнительные надобности определяют в процентах от оперативного времени (k , %) по формуле

$$t_{шт} = (t_{от} + t_{в}) \cdot \left(1 + \frac{k}{100}\right). \quad (9.5)$$

Машинное время ($T_{маш}$) при механообработке на станках представляет собой время прохождения инструмента на рабочей подаче (рис. 9.1) и определяется в общем случае по формуле

$$T_{маш} = \frac{L \cdot i}{S_0}, \quad (9.6)$$

где L – длина участка, проходимого на рабочей подаче;

i – количество последовательно выполняемых рабочих ходов (проходов);

S_0 – подача на оборот (мм/об).

С учетом соотношения между подачей за оборот S_0 и подачей в минуту S_M

$$S_0 = S_M \cdot n, \quad (9.7)$$

где n – частота вращения шпинделя (об/мин);

S_M – минутная подача (мм/мин),

выражение (9.6) принимает вид

$$T_{\text{маш}} = \frac{L \cdot i}{S_M \cdot n}. \quad (9.8)$$

Длину участка L , проходимого на рабочей подаче, определяют согласно выражению

$$L = L_d + l_1 + l_2, \quad (9.9)$$

где l_1, l_2 соответственно длина врезания и перебега (см. рис. 9.1);

L_d – длина обрабатываемой поверхности.

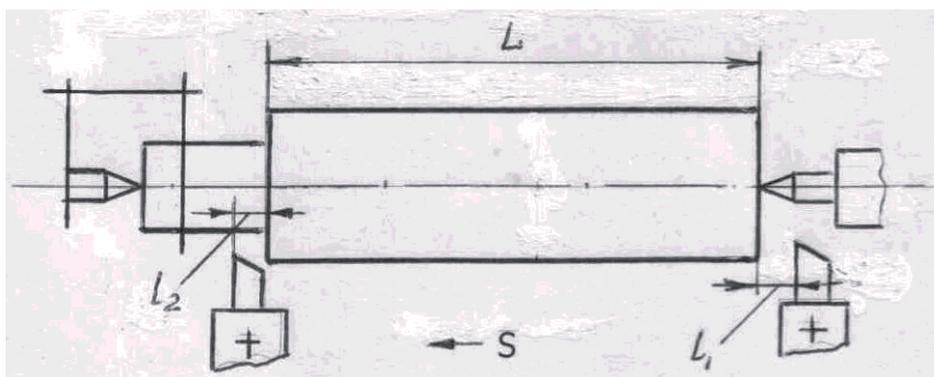


Рис. 9.1. Схема определения траектории, проходимой инструментом на рабочей подаче

Приведенное выражение (9.8) является общей формулой, которая с небольшими изменениями может быть использована для расчета машинного времени при выполнении обработки на различных других станках.

Машинное время при обработке деталей на станках-автоматах и полуавтоматах определяется как сумма времени на все несовмещенные основные технологические и вспомогательные переходы, выполняемые в цикле работы станка:

$$T_{\text{маш}} = T_{\text{от}} + T_{\text{в}}, \quad (9.10)$$

где $T_{\text{от}}$ – время на основные технологические переходы;

$T_{\text{в}}$ – время на вспомогательные переходы.

Так, например, при обработке на одношпиндельных автоматах $T_{\text{в}}$

включает время на подачу и зажим прутка, время на несовмещенные повороты револьверной головки и другие вспомогательные ходы. На многошпиндельных автоматах T_B включает также время на поворот шпиндельного блока (барабана), на подвод и отвод суппортов. Численные значения этих составляющих определяют на основании схемы обработки заготовки и паспортных данных станка.

На многошпиндельных и многопозиционных станках-автоматах, когда выполняется параллельно-последовательная обработка заготовок в четырех, шести или восьми позициях, время цикла обработки $T_{\text{ц}}$ определяется по наиболее продолжительному технологическому переходу $T_{\text{ц}} = T_{\text{маш}}$. При этом, если за время цикла происходит изготовление двух, трех или более деталей, то штучное время изготовления одной детали составляет

$$t_{\text{шт}} = T_{\text{ц}} / n,$$

где n – количество изготавливаемых деталей за цикл.

При изготовлении деталей на станках с ЧПУ, на многооперационных станках типа «обрабатывающий центр» и на робототехнических модулях машинное время определяется как сумма затрат времени на все несовмещенные во времени основные технологические и вспомогательные переходы, выполняемые в цикле работы технологического модуля. В состав таких переходов входит замена заготовки и спутника $t_{\text{сп}}$, автоматическая замена инструмента $t_{\text{ин}}$, холостые перемещения, связанные с поворотом стола $t_{\text{пк}}$, с подводом и отводом рабочих узлов $t_{\text{хх}}$, выполнение обработки $t_{\text{от}}$, автоматический контроль в цикле работы станка $t_{\text{к}}$. С учетом этого затраты вспомогательного времени составляют

$$T_B = t_{\text{сп}} + t_{\text{ин}} + t_{\text{р}} + t_{\text{пк}} + t_{\text{к}}. \quad (9.11)$$

Таким образом, машинное время обработки заготовки на многооперационном станке можно рассчитать по формуле

$$T_{\text{маш}} = \sum_{i=1}^{i=k} T_{\text{оти}} + t_{\text{сп}} + \sum_{i=1}^{i=l} t_{\text{ин}} + \sum_{i=1}^{i=m} t_{\text{пк}} + \sum_{i=1}^{i=n} t_{\text{хх}} + \sum_{i=1}^{i=q} t_{\text{ки}}, \quad (9.12)$$

где k – число несовмещенных основных технологических переходов;

l, m, n, q – числа, определяющие количество несовмещенных вспомогательных переходов, связанных с заменой инструмента, поворотом стола, подводом и отводом рабочих узлов и выполнением автоматического контроля в цикле работы станка.

Затраты времени от начала до конца выполнения какого-либо периодически повторяющегося технологического или производственного

процесса принято называть циклом. Различают цикл изготовления изделия, цикл изготовления сборочной единицы, цикл изготовления детали и цикл выполнения отдельной операции.

Для наглядного определения затрат циклового времени строят циклограмму (рис. 9.2). По вертикали откладывают выполняемые по ходу процесса технологические операции и вынужденные потери времени на пролеживание заготовки между смежными операциями. По горизонтали откладывают время, затрачиваемое на выполнение соответствующих операций.

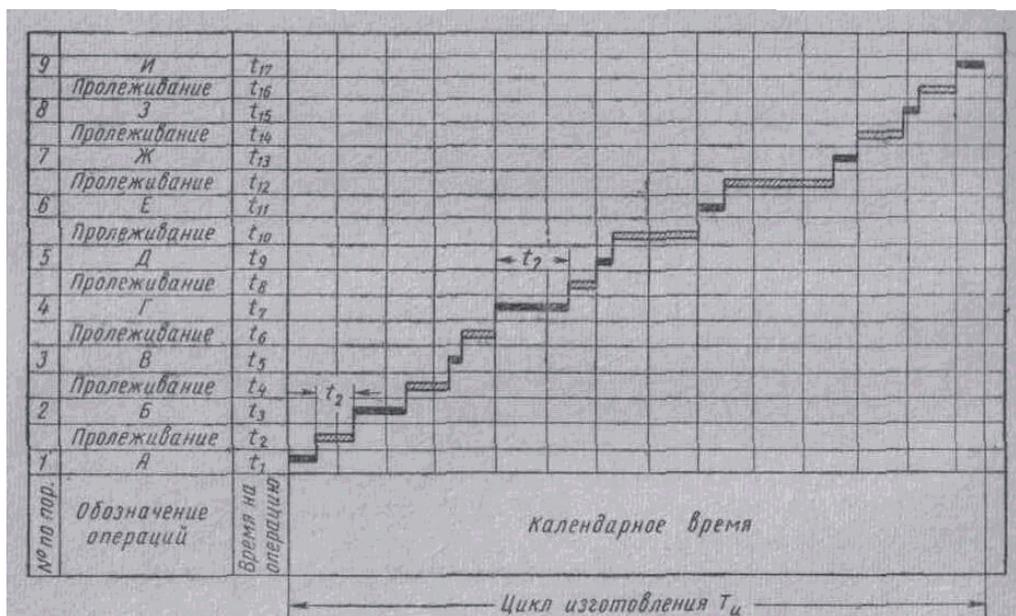


Рис. 9.2. Циклограмма изготовления детали

Таким образом, время цикла $T_{ц}$ представляет собой замыкающее звено временной размерной цепи, составляющими звеньями которой являются затраты времени на технологические операции $t_{шт}$, пролеживание и транспортирование заготовки $t_{пр}$ между операциями:

$$T_{ц} = \sum_{i=1}^{i=m} t_{шти} + \sum_{i=1}^{i=m-1} t_{при}, \quad (9.13)$$

где m – количество выполняемых операций.

Сокращение продолжительности цикла изготовления изделия позволяет снизить себестоимость единицы продукции. Это достигается в результате увеличения выпуска изделий в единицу времени с одного м² производственной площади. Все это позволяет ускорить высвобождение вложенных в производство средств на материалы, оборудование, заработную плату, что позволяет увеличить выпуск изделий и исполь-

зывать высвобождаемые средства для совершенствования и развития производства.

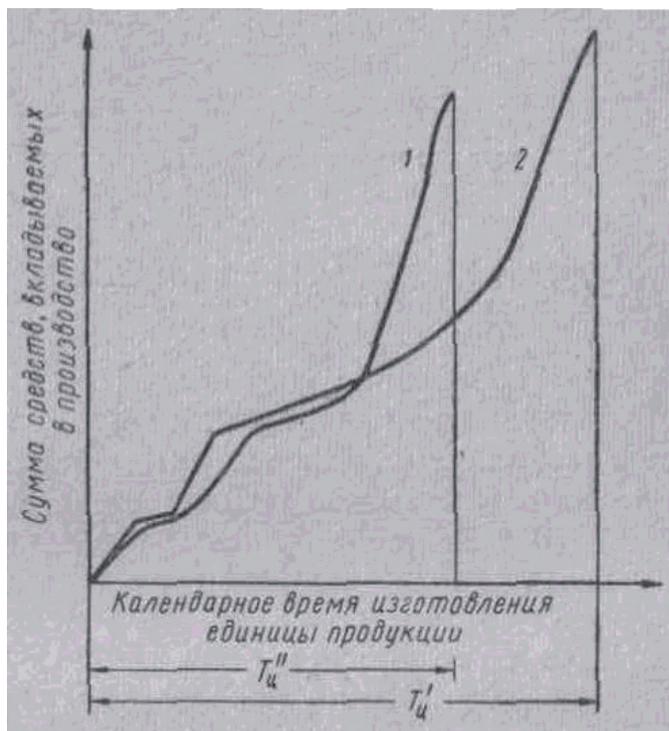


Рис. 9.3. График возрастания затрат на изготовление изделия по мере увеличения времени цикла

ваемых в производство и себестоимость изделия, при снижении продолжительности цикла уменьшается. При этом наиболее интенсивное увеличение затрат имеет место в конце цикла при выполнении последних операций. Это обстоятельство показывает, что для ускорения высвобождения средств и получения наибольшей эффективности, в первую очередь, необходимо стремиться к уменьшению продолжительности путем уменьшения затрат времени на последних операциях технологического процесса.

9.2. Основы технического нормирования

Задачей технического нормирования является установление технически обоснованных норм времени на выполнение технологических операций и норм выработки, что является основой для правильной организации труда и внутризаводского планирования.

Норма времени представляет собой регламентируемые затраты времени на выполнение определенной технологической операции. Она состоит из нормы подготовительно-заключительного времени и нормы

штучного времени. Согласно формулам (9.1) – (9.3) для установления норм времени необходимо знать значения составляющих этих формул.

Существует четыре основных метода нормирования.

При *аналитически-расчетном методе нормирования* продолжительность машинного времени рассчитывают по формулам, аналогичным (9.6), (9.8), с учетом применяемого станка и способа обработки. Затраты вспомогательного времени на выполнение ручных приемов (установку и съем заготовки, включение и выключение оборудования и т.д.), а также затраты подготовительно-заключительного времени, времени обслуживания рабочего места и времени на личные потребности определяют по нормативам времени из соответствующих справочников по нормированию.

В табл. 9.1 приведены нормативные данные вспомогательного времени на установку, закрепление и снятие заготовок, обрабатываемых на станках.

Исходные данные для подсчета $T_{\text{маш}}$ берут из рабочих чертежей деталей и из технологических процессов их изготовления. Анализируя чертеж детали и технологию ее изготовления, определяют длину обрабатываемой поверхности, число проходов и расстояния на врезание и выход инструмента. Режимы обработки находят из нормативов по режимам резания и паспортным данным на оборудование и инструмент. Исходные данные и результаты расчета заносят в расчетный лист, пример заполнения которого для детали типа «лабиринтное кольцо» показан на рис. 9.4.

Таблица 9.1

Вспомогательное время (мин) на установку и снятие заготовок на станках

Способ установки заготовки	Масса заготовки (кг)				
	0,5	1	3	5	8
На токарных станках					
В самоцентрирующем патроне вручную	0,2	0,25	0,29	0,34	0,38
В центрах с надеванием хомутика	0,21	0,23	0,25	0,28	0,33
На гладкой или шлицевой оправке с гайкой	0,55	0,58	0,63	0,7	0,74
На фрезерных станках					
На столе с закреплением болтами с планками при базировании по необработанной поверхности	1,4	1,6	1,85	2,0	2,2

Окончание табл. 9.1

Способ установки заготовки	Масса заготовки (кг)				
	0,5	1	3	5	8
В тисках с винтовым зажимом с выверкой	0,39	0,43	0,49	0,53	0,60
На вертикально- и радиально-сверлильных станках					
В самоцентрирующем патроне без выверки	0,16	0,17	0,18	0,20	0,24
На призме по цилиндрической поверхности с креплением гайкой или винтом	0,20	0,24	0,33	0,36	0,38
В тисках с пневматическим зажимом без выверки	0,16	0,17	0,19	0,22	0,26

В результате представляется возможным отдельно рассчитать машинное время и время, затрачиваемое на вспомогательные и ручные приемы, а затем путем суммирования не совмещенных во времени переходов подсчитать оперативное время.

На рис. 9.5 приведена карта нормативных данных для определения затрат вспомогательного времени, времени на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного времени на партию нарезаемых конических зубчатых колес.

Нормирование основного технологического времени следует выполнять с учетом разновидностей выполняемой операции:

- автоматизированной, когда основное время является машинным;
- механизированной, когда основное время является машинно-ручным;
- ручной, когда основное время является ручным.

Расчет машинного времени необходимо выполнять с учетом наименее выгоднейших режимов работы оборудования. В механизированных процессах машинно-ручное время необходимо определять с учетом квалификации рабочего. Нормирование времени ручных работ выполняют по нормативам, приводимым в справочниках.

Аналитически-расчетный метод нормирования является наиболее точным, его применяют в крупносерийном и массовом производствах, для которых правильное установление норм времени имеет особенно важное значение.

РАСЧЕТ НОРМЫ ВРЕМЕНИ ПРИ РАБОТЕ НА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОМ СТАНКЕ																	
Завод	Цех	Подготовительно-заключительное время в мин	20	Операция №	Изделие												
		Оперативное время в мин Время на обслуживание рабочего места, отходы и личные надобности в мин Штучное время в мин Разряд работы	9,09 0,73 9,82 3	Наименование операции: <i>токарная чистовая</i> Станок: <i>токарно-винторезный</i> Модель <i>ПК62</i> Инвентарный № Число станков, обслуживаемых рабочим— <i>1</i> Число одновременно устанавливаемых деталей— <i>1</i>	Наименование детали: <i>кольцо лабиринтное</i> № детали № чертежа Количество деталей на одно изделие— <i>1</i> Род и размер заготовки: <i>отливка, сталь жаропрочная ЭИИ15, нормализованная, превариательно обработанная</i> Вес детали— <i>4,5 кг</i> Суммарная продолжительность обработки партии деталей по трудоемкости— <i>5 смен</i>												
		Инструмент	Расчетные размеры обработки в мм	Режим обработки	Основное (технологическое) время в мин	Вспомогательное время в мин											
№ перехода	Наименование переходов	режущий	Длина Врезание и передет На пробную стружку Расчетная длина	Притуск на сторону в мм	Число проходов	Глубина резания в мм	Подача в мм/об	Скорость резания в м/мин	Число оборотов в мин	I Установка и снятие детали	II Связанное с переходом	III Перемещение частей станка	IV Изменение		V Контрольные измерения		
													Смена инструмента	подачи		числа оборотов	
1	Обточить по наружному диаметру 1 до $\varnothing 256_{-0,30}^{+0,18}$ мм	Резец $\varphi=90^\circ$ ВК8 То же	42 3 5 50	1,5	1	1,5	0,3	104	125	0,21	0,65	—	0,07	0,08	0,20	1,28	
2	Обточить торец 2 до размера 14,5 мм	То же	27 3 — 30	1,0	1	1,0	0,3	122	125	—	0,27	—	—	—	0,07	0,34	
3	Обточить торец 3 до размера 42-0,1 мм	Резец ВК8 То же	8 3 — 16	1,0	1	1,0	0,3	104	125	—	0,37	—	—	—	0,10	0,47	
4	Проточить паз 4	Резец ВК8 То же	2 2 — 4	—	1	3,0	0,28 (ручная)	104	125	—	0,16	—	0,07	—	—	0,23	
5	Обточить торец 5 до размера 10-0,5 мм	То же	10 3 — 13	1,0	1	1,0	0,3	125	500	—	0,27	—	0,07	0,08	0,07	0,49	
6	Расточить отверстие 6 $\varnothing 60A_3$	Резец ВК8 То же	16 3 — 24	1,5	2	1,2	0,11	123	690	—	1,5	—	—	0,07	0,08	0,15	1,80
7	Обточить торец 7 до размера 10-0,5 мм	То же	10 3 — 13	1,0	1	1,0	0,3	123	690	—	0,27	—	—	—	—	0,07	0,34
8	Расточить отверстие 8 $\varnothing 40A_3$	"	20 3 — 28	1,5	2	1,2	0,11	125	1000	—	1,5	—	—	0,08	0,12	1,70	
Всего										4,04					6,65		

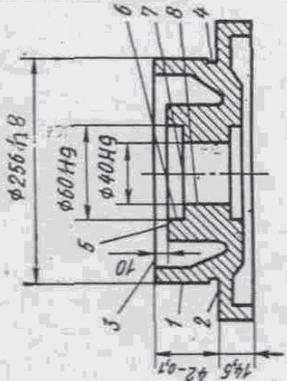


Рис. 9.4. Расчетный лист для определения нормы времени на изготовление лабиринтного кольца на токарно-винторезном станке

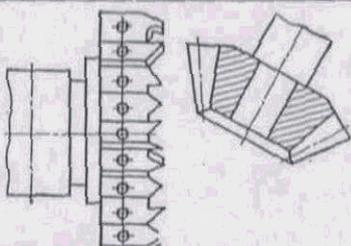
ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ НА ОПЕРАЦИЮ, ВРЕМЯ НА ОБСЛУЖИВАНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА И ПОДГОТОВИТЕЛЬНО- ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ				Зуборезные станки для конических колес с криво- линейным зубом						
				КАРТА 71						
										
I. Вспомогательное время на операцию										
№ пози- ции	Способ установки детали				Вес детали в кг до					
					1	3	8	20	30	
						Время в мин				
1	На оправке с креплением	гайкой с шайбой	быстро-съемной	без выверки	0,27	0,34	0,50	0,70	1,0	
2			простой		0,38	0,50	0,70	1,0	1,3	
3		пневматическим зажимом				0,19	0,25	0,37	0,55	0,65
4		гайкой с шайбой	быстро-съемной		с совме- щением про-филя детали и инстру-мента	0,34	0,42	0,60	0,80	1,10
5						простой	0,45	0,60	0,80	1,1
6		пневматическим зажимом					0,26	0,33	0,47	0,65
7	В цанговом патроне с креплением	пневматическим зажимом		0,13		0,16	0,21	—	—	
8		маховичком через шпindel		0,17		0,20	0,25	—	—	
II. Время на обслуживание рабочего места										
9	Процент от оперативного времени							4,5		
III. Подготовительно-заключительное время на партию										
А. На наладку станка, инструмента и приспособлений										
№ позиции	Способ установки детали				Группа станков					
					I		II			
						Наибольший нарезаемый модуль в мм				
						8		15		
					Время в мин					
10	На оправке или в цанговом патроне				45		60			
Б. На получение инструмента и приспособлений до начала и сдачу их после окончания обработки										
11	Получение инструмента и приспособлений исполнителем работы до начала и сдачу их после окончания обработки партии деталей							7,0		

Рис. 9.5. Карта нормативных данных для определения вспомогательного времени, времени на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного времени на партию конических зубчатых колес, нарезаемых фрезерованием

Аналитически-исследовательский метод нормирования предусматривает использование данных, полученных в результате измерения и изучения затрат рабочего времени непосредственно на рабочих местах путем проведения фотографии рабочего времени, хронометража

или фотохронометража. При этом операции структурно делят на отдельные приемы, элементы приемов, границами между которыми являются фиксажные точки. Обработанные данные систематизируют и используют для определения продолжительности машинно-ручных и ручных приемов основного и вспомогательного времени, а также подготовительно-заключительного времени и времени, затрачиваемого на обслуживание рабочего места. Машинное время определяют так же, как и при аналитически-расчетном методе, с учетом режимов работы оборудования и необходимой длины обрабатываемой поверхности.

С помощью хронометража изучают затраты времени на выполнение циклически повторяющихся ручных и машинно-ручных приемов и элементов операций. Его применяют также для проектирования рациональных по составу и структуре операций, для установления нормальной продолжительности приемов и разработки на этой основе нормативов, которые используют при назначении технически обоснованных норм времени. Хронометраж применяют также при изучении передовых методов работы с целью их последующего распространения.

В условиях крупносерийного и массового производств в начале освоения технологического процесса нормы времени устанавливаются с использованием аналитически-расчетного метода. А затем при необходимости их уточняют и корректируют на основе применения аналитически-исследовательского метода, трудоемкость которого значительно выше.

Нормирование с использованием укрупненных нормативов применяют в серийном и мелкосерийном производствах при сравнительно малых партиях изготавливаемых деталей, когда затраты на нормирование не должны быть большими. При этом методе с помощью предварительно составленных таблиц или графиков определяют суммарные затраты штучного времени на выполнение определенной операции. Укрупненный метод нормирования позволяет в значительной мере сократить объемы работ по нормированию труда.

Наибольшее распространение получили следующие разновидности укрупненного метода:

- нормирование, основанное на разделении операции на укрупненные части, для чего разрабатывают укрупненные нормативы времени на комплексы приемов;
- нормирование по нормативам времени на выполнение отдельных

технологических переходов, обработку поверхностей или комплексов поверхностей;

- нормирование по типовым нормам времени, для чего разрабатывают типовой технологический процесс, общий для группы сходных по конструкции деталей, а затем на операции типового технологического процесса аналитически-расчетным методом устанавливают типовые нормы времени.

В качестве примера на рис. 9.6 приведена карта нормативных данных для определения затрат штучного времени на сборочную операцию по запрессовке деталей со шпонкой с использованием гидравлического пресса. В приведенной карте указывается также состав переходов, выполняемых на нормируемой сборочной операции.

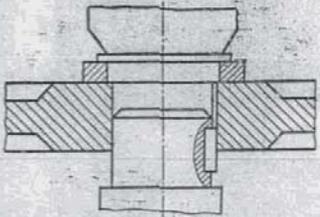
ЗАПРЕССОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ, УЗЛОВ НА ВАЛ ИЛИ В ОТВЕРСТИЕ СО ШПОНКОЙ ПОД ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРЕССОМ. УСТАНОВКА ДЕТАЛЕЙ, УЗЛОВ ВРУЧНУЮ ИЛИ ПОДЪЕМНИКОМ		Соединение деталей, узлов					
		КАРТА 63					
		ВРУЧНУЮ					
		Содержание работы					
							
		1. Взять деталь, узел, протереть соединяемые поверхности и смазать шейки вала под запрессовку. 2. Установить базовую деталь, узел на стол пресса. 3. Установить деталь, узел на вал или в отверстие базовой детали. 4. Включить пресс, запрессовать деталь, узел, выключить пресс. 5. Снять и отложить узел.					
№ позиции	Вес детали узла в кг до	Длина запрессовки в мм до					
		30	50	100	150	200	300
Штучное время в мин							
1	2,0	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7
2	3,0	0,4	0,45	0,5	0,55	0,65	0,75
3	5,0	0,45	0,5	0,55	0,6	0,70	0,85
4	8,0	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,9
5	12,0	0,60	0,65	0,75	0,85	0,9	1,05
6	20,0	0,70	0,80	0,90	1,05	1,1	1,2

Рис. 9.6. Карта нормативных данных для определения затрат времени на запрессовку деталей с помощью гидравлического пресса

Разработку укрупненных нормативов осуществляют следующим образом. Тщательно разрабатывают технологические процессы для изготовления нескольких близких по служебному назначению деталей, отличающихся друг от друга размерами, например гладких втулок, ступенчатых валиков или зубчатых колес одной степени точности. А затем, используя аналитический расчетный метод, нормируют все операции по изготовлению рассматриваемых деталей наименьших и наибольших

размеров. Полученные нормы времени в виде точек наносят на графики, в которых по вертикальной оси откладывают время, затрачиваемое на выполнение операции, а по горизонтальной оси – один из параметров изготавливаемой детали, например длину или диаметр, характеризующий затраты времени на данную операцию. На основании полученных двух – трех точек проводят линию, показывающую зависимость затрат времени на выполнение операции от одного из определяющих геометрических параметров детали. А затем, используя полученную зависимость, методом интерполяции (или реже экстраполяции) определяют нормы времени на изготовление аналогичных деталей других размеров.

Использование этой методики наглядно показано на примере определения норм штучного времени для операции круглого шлифования валов различной длины (рис. 9.7). Если аналогичным образом рассмотреть затраты времени на шлифование валов других диаметров (40... 100 мм), то на графике можно отобразить несколько линий, которые значительно обогащают базу нормативных данных для валов других размеров.

Таким образом, нормирование по укрупненным нормативам с использованием таблиц и графиков, создаваемых на базе аналитически-расчетного метода, применяемого для изделий крайних размеров, позволяет определить нормы штучного времени на изготовление изделий всех промежуточных размеров.

В случае введения дополнительных мероприятий, направленных на улучшение технологического процесса и повышение производительности, в нормы времени могут быть внесены поправки. С этой целью достаточно пронормировать операцию для одной детали. По графику определяют разницу в нормах времени в данной точке по старой и новой технологиям и сдвигают шкалу норм времени на надлежащую величину.

Аналогичным образом вносят необходимые поправки в табличные

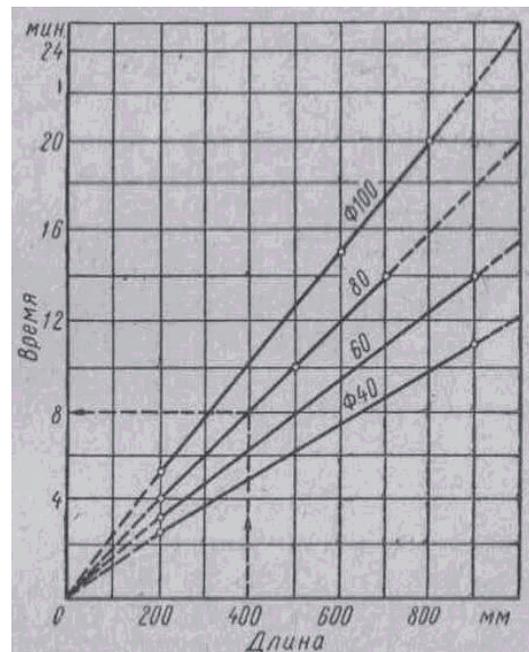


Рис. 9.7. График для определения нормы штучного времени на операцию круглого шлифования гладких стальных валов

данные. Этот вариант нормирования по укрупненным нормативам получил название нормирования методом сопоставления или сравнения.

Статистический метод нормирования предусматривает установление нормы штучного времени на выполнение всей операции. При этом методе нормы времени устанавливаются на основании сбора и обработки статистических данных о времени, фактически затраченном на выполнение аналогичных операций при изготовлении подобных деталей на станках одинакового типоразмера. С этой целью на предприятии составляют и поддерживают базу данных по затратам штучного времени на выполнение определенных операций, которая выполняет роль заводских нормативов, используемых при планировании и организации данного производства.

В основе *опытного метода нормирования* заложен производственно-технический опыт работника, устанавливающего нормы времени на отдельные операции. При использовании данного метода норма штучного времени устанавливается на выполнение всей операции на основании личного опыта нормировщика или инженера-технолога.

Статистический и опытный методы нормирования получили название методов суммарного нормирования, так как нормы времени устанавливаются здесь сразу на всю операцию без анализа технологического процесса и выявления возможностей технологической системы, без учета передового опыта. Методы суммарного нормирования по существу фиксируют достигнутый в прошлом уровень производительности труда и не отражают новых возможностей более производительного и экономичного использования средств производства и внедрения новой техники.

9.3. Повышение производительности путем уменьшения затрат времени на выполнение операций

Повышения производительности изготовления деталей на станках достигают уменьшением затрат времени на выполнение операций. Пути уменьшения затрат времени и повышения производительности труда рабочего вытекают из анализа формул (9.1 – 9.3), определяющих составляющие затрат подготовительно-заключительного и штучного времени на выполнение операций технологического процесса. Эффективное уменьшение затрат времени на операцию возможно обеспечить

путем одновременного снижения составляющих как подготовительно-заключительного, так и штучного времени.

Пути уменьшения составляющих подготовительно-заключительного времени

Одним из путей сокращения части подготовительно-заключительного времени, приходящейся на одну деталь $T_{пз}/n$, является увеличение количества изготавливаемых деталей в запускаемой партии ($n \rightarrow >$), которую обрабатывают при одной настройке размерных и кинематических цепей станка. Для увеличения числа деталей в партии необходимо стремиться к созданию конструкций с наибольшим числом унифицированных деталей.

В крупносерийном и массовом производствах, когда выполняется непрерывная обработка одинаковых деталей на настроенных станках, доля подготовительно-заключительного времени на одну деталь оказывается очень малой.

В мелкосерийном и серийном производствах уменьшения подготовительно-заключительного времени на деталь достигают путем организации групповой обработки близких по служебному назначению деталей, имеющих общие геометрические формы, близкие размеры, материал и технические требования. При изготовлении таких деталей не требуется больших затрат времени на переналадку технологической системы, выполняемую при переходе от изготовления одной детали к другой. Так, например, если на токарно-револьверном станке изготавливают из прутка винты одного диаметра и различной длины, то для перехода на изготовление винтов другой длины достаточно переставить упоры ограничения длины хода револьверной головки.

Для организации групповой обработки на станках создают различные унифицированные наладки и приспособления, позволяющие осуществлять быстрый переход от изготовления одной детали к другой. В качестве примера на рис. 9.8 представлено быстропереналаживаемое поворотное приспособление для сверления центральных и плановых отверстий в зубчатых колесах, крышках и других деталях типа диска.

Базирование заготовок различного диаметра осуществляется в самоцентрирующемся трехкулачковом патроне 1, который может быть повернут и зафиксирован в требуемом угловом положении. Направляющая втулка 2 расположена на регулируемом кронштейне 3, что позволяет вывести сверло на необходимый радиальный размер, отсчитываемый

от центра патрона. В свою очередь, наличие сменной направляющей втулки и возможность ее быстрой замены позволяет сверлить отверстия различных диаметров.

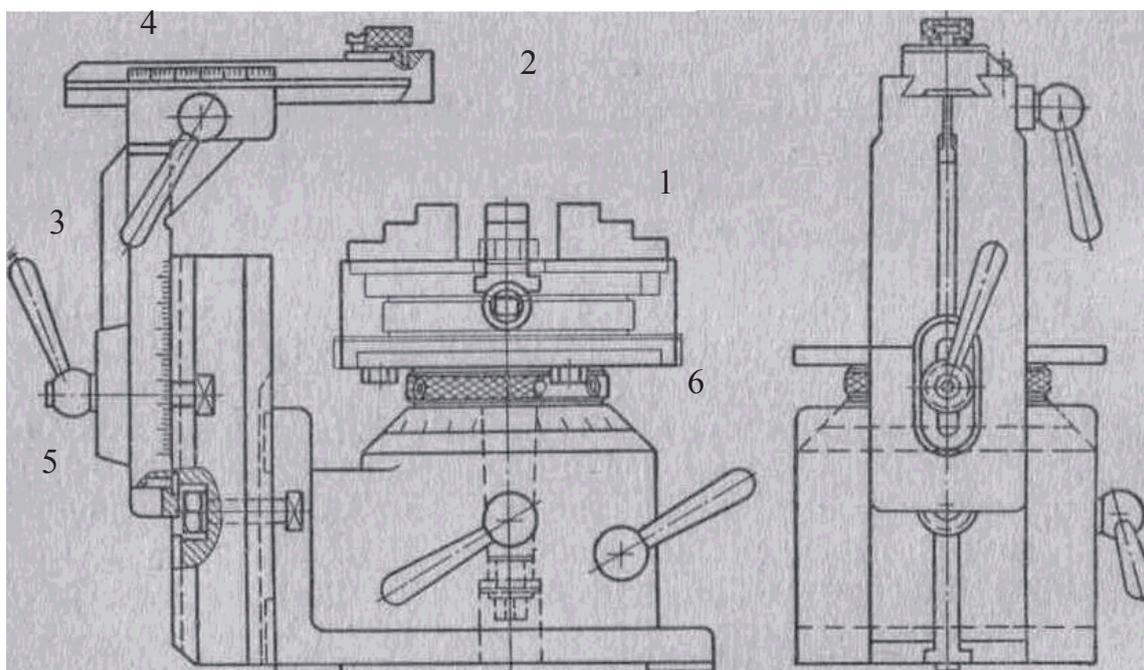


Рис. 9.8. Перенастраиваемое поворотное приспособление для сверления центральных и плановых отверстий в деталях типа диска

Отсчет координат при перемещении втулки по горизонтали выполняют по линейке 4, координаты перемещения втулки по вертикали отсчитывают по линейке 5, а точность поворота патрона вокруг вертикальной оси – по шкале 6.

Таким образом, реализация групповой обработки деталей, по существу, означает увеличение числа деталей, изготавливаемых по одной настройке станка или при небольшой перенастройке технологической системы.

Согласно выражению (9.2) подготовительно-заключительное время складывается из времени получения технологии и ознакомления рабочего с задачей ($t_{\text{ч}}$), которую ему необходимо выполнить, времени на получение и установку на станке режущего инструмента ($t_{\text{и}}$) и приспособлений ($t_{\text{о}}$), необходимых для установки и закрепления обрабатываемых заготовок, а также времени на статическую настройку размерных и кинематических цепей технологической системы ($t_{\text{с}}$). Снижения подготовительно-заключительного времени на партию деталей следует достигать путем уменьшения всех составляющих формулы (9.2).

Правильно разработанный чертеж изделия, короткий и исчерпы-

вающе ясно написанный технологический процесс позволяют рабочему быстро понять поставленную технологическую задачу и выполнить ее с минимальными затратами времени. Требуемую технологическую оснастку – приспособления, инструмент и партию обрабатываемых заготовок – необходимо своевременно доставлять к рабочему месту.

Для сокращения времени, затрачиваемого на установку концевых режущего инструмента, – сверл, зенкеров, метчиков, разверток – применяют быстросменные зажимные патроны. На сверлильных станках с этой целью применяют также поворотные трех- или шестипозиционные револьверные головки, позволяющие быстро вывести необходимый инструмент на рабочую позицию.

Применение на станках винтовых упоров, различных регулировочных и отсчетных устройств позволяет быстро и с достаточной точностью осуществлять настройку технологических размерных цепей при использовании метода регулировки. В качестве примера на рис. 9.9 показана схема технологической размерной цепи токарного полуавтомата, определяющая радиальный размер A_{Δ} , получаемый на детали:

$$A_{\Delta} = A_1 + A_2 + A_3 - A_4 - A_5 + A_6 - A_7.$$

Настройка размерной цепи на точность осуществляется при помощи регулировки. Роль подвижного компенсатора выполняет суппорт 1, который перемещают в поперечном направлении относительно продольных салазок 2 с помощью винта 3. Изменение размера звена компенсатора A_3 определяют с помощью отсчетного устройства, роль которого выполняет лимб попе-

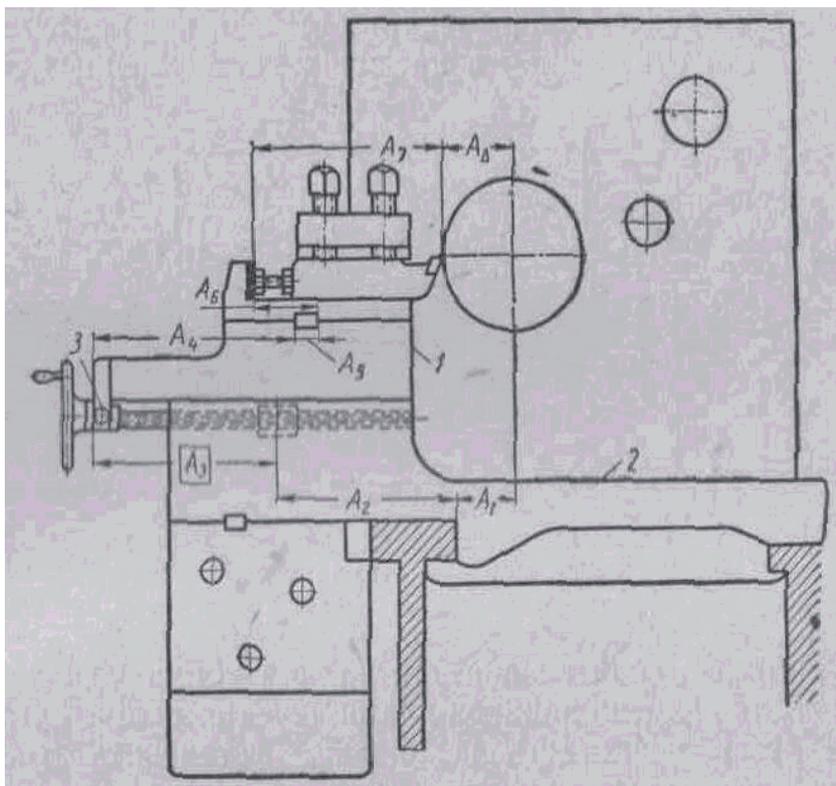


Рис. 9.9. Схема технологической размерной цепи токарного полуавтомата

мощью отсчетного устройства, роль которого выполняет лимб попе-

речного винта 3. Применение резцовых блоков, выставляемых на требуемый размер вне станка, позволяет использовать метод взаимозаменяемости для достижения точности статической настройки при замене режущего инструмента, что также существенно уменьшает затраты подготовительно-заключительного времени. В рассматриваемой размерной цепи A_{Δ} регулируемый резцовый блок определяется звеном A_7 .

Для сокращения подготовительно-заключительного времени, затрачиваемого на статическую настройку размерных цепей технологической системы, используют также встроенные индикаторы, линейки, эталоны, габариты и другие устройства, служащие одновременно и для увеличения точности настройки станка.

Значительное сокращение подготовительно-заключительного времени, затрачиваемого на настройку и перенастройку станка, получают на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). *Числовое программное управление* (NC – Numerical Control) – управление обработкой на станке по программе, заданной в цифровой кодированной форме. При этом способе управления станком, промышленным роботом или другим устройством имеет место быстрое, технологически гибкое задание управляющей программы в цифровой форме с использованием алфавитно-цифрового или унитарного кода. В станках с ЧПУ механические связи заменяют многокоординатным управлением электроприводами, что обеспечивает задание по программе законов движения рабочих органов и достижение требуемых размеров статической настройки для соответствующего режущего инструмента [13, 23].

Повышение производительности путем уменьшения составляющих штучного времени

Согласно выражению (9.3) сокращение штучного времени может быть достигнуто путем уменьшения составляющих оперативного времени $t_{\text{оп}} = t_{\text{от}} + t_{\text{в}}$ и совмещения во времени выполнения основных и вспомогательных переходов.

Сокращения основного технологического времени $t_{\text{от}}$ достигают путем уменьшения числа проходов i , путем назначения оптимальных режимов обработки (скорости резания, подачи, глубины резания), путем уменьшения длины относительного перемещения инструмента L , выполняемого на рабочей подаче, а также путем полного или частичного совмещения основных технологических переходов во времени.

Для сокращения количества проходов необходимо обеспечить

уменьшение припусков на обработку. Этого достигают путем применения более совершенных заготовок, геометрия которых имеет наиболее точное, приближение к размерам и форме готовой детали. Другим средством уменьшения количества проходов является выполнение обработки с применением систем адаптивного управления, обеспечивающих автоматическое управление точностью и режимами обработки.

Одним из основных средств уменьшения машинного времени является повышение режимов обработки. Выбор режимов обработки непосредственно связан с требуемой точностью изготавливаемой детали.

Величина продольной подачи выбирается с учетом достижения требуемой шероховатости получаемой на детали поверхности и качества поверхностного слоя. В свою очередь, значение скорости резания выбирают с учетом размерной стойкости режущего инструмента и количеством образующегося тепла, порождающего температурные деформации в технологической системе. Применение адаптивных систем обеспечивает возможность управления этими факторами в процессе обработки, а следовательно, позволяет выполнять обработку на более высоких режимах резания с большей производительностью. Повышение точности обработки на одной из операций, например токарной или фрезерной, позволяет, как правило, сократить количество проходов или повысить режимы обработки на последующих чистовых операциях, например шлифовальных, что позволяет выполнить их более производительно. Таким образом, обработка на станках с использованием адаптивных систем управления позволяет выявить значительные резервы сокращения машинного времени [1].

Уменьшения длины относительного перемещения инструмента L на рабочей подаче достигают путем сокращения длины врезания l_1 и выхода l_2 инструмента из заготовки. Величину врезания назначают с учетом точности расположения обрабатываемой поверхности заготовки относительно базы и точности позиционирования рабочих органов станка, что позволяет исключить ударную нагрузку при входе инструмента в заготовку на подаче ускоренного хода. Для сверл длину врезания l_1 рассчитывают по формуле

$$l_1 = \frac{d}{2} \cdot \operatorname{ctg} \varphi + (0,5 \div 2) \text{мм},$$

где d – диаметр сверла; φ – угол при вершине сверла.

При выполнении рассверливания, зенкерования или развертывания расстояние на врезание l_1 рассчитывают по формуле

$$l_1 = \frac{D-d}{2} \cdot \operatorname{ctg}\varphi + (0,5 \div 2)\text{мм},$$

где D – диаметр отверстия в заготовке; d – диаметр инструмента; φ – угол при вершине инструмента.

Для уменьшения расстояния на врезание l_1 при выполнении фрезерования торцевой фрезой рекомендуется:

- выполнять обработку фрезами большего диаметра (рис. 9.10, а), что позволяет обеспечить $l_1^{\text{II}} < l_1^{\text{I}}$;
- располагать ось фрезы симметрично относительно контура заготовки (рис. 9.10, б), когда также получают $l_1^{\text{II}} < l_1^{\text{I}}$.

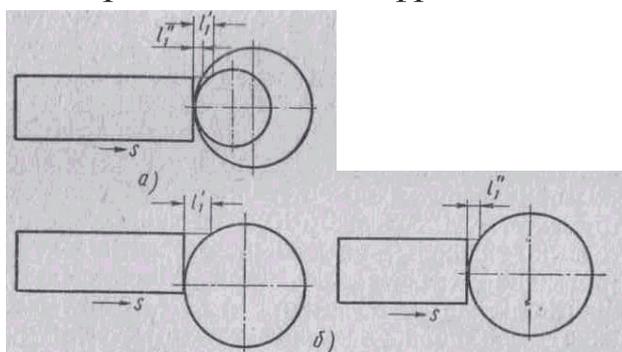


Рис. 9.10. Уменьшение величины врезания при торцевом фрезеровании: а – путем применения фрезы большего диаметра; б – путем симметричного расположения фрезы относительно заготовки

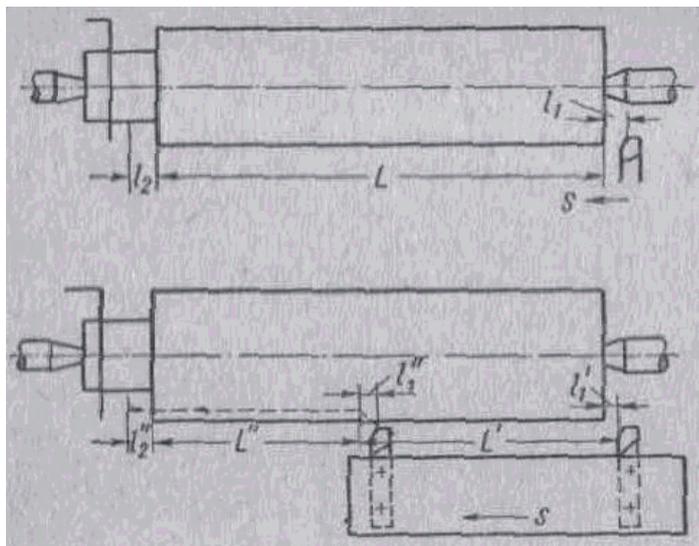


Рис. 9.11. Схема точения одной поверхности вала двумя проходными резцами

Значительного сокращения машинного времени достигают при уменьшении длины рабочего хода инструмента путем обработки поверхности одновременно несколькими инструментами. Этот способ повышения производительности находит эффективное применение на

многорезцовых токарных и токарно-револьверных полуавтоматах и автоматах. На рис. 9.11 показана схема точения одной поверхности двумя проходными резцами. В результате разделения обрабатываемой поверхности на два равных участка $L = L^I + L^{\text{II}}$ машинное время точения вала уменьшается в два раза $T_{\text{маш.}}(L) = 2 T_{\text{маш.}} \times (L^I + L^{\text{II}})$, и в общем случае уменьшение времени пропорционально количеству применяемых резцов.

ботки торцевых поверхностей ступенчатого вала и прорезки канавок на многолезцовом токарном автомате.

В случае, когда на заготовке одновременно обрабатываются все поверхности, основное технологическое время на операции определяется как время, затрачиваемое на выполнение наиболее продолжительного технологического перехода: $t_{от} = t_o^{нб}$.

При выполнении комбинированной обработки поверхности делят на несколько групп. Часть поверхностей обрабатывают последовательно, каждую отдельно. А другие поверхности объединяют в группы, в которых обработка поверхностей осуществляется параллельно. В результате основное технологическое время рассчитывают по формуле

$$t_{от} = \sum_{i=1}^{i=m} t_{oi} + \sum_{j=1}^{j=k} t_{oj}^{нб},$$

где m – число одиночных последовательно обрабатываемых поверхностей;

$t_{oj}^{нб}$ – время наиболее продолжительного технологического перехода в группах одновременно обрабатываемых поверхностей;

k – количество групп одновременно обрабатываемых поверхностей.

Пример выполнения комбинированной обработки на фрезерно-центровальном станке-автомате показан на рис. 9.14. Обрабатываемые поверхности вала (два торца и два центровых гнезда) в данном случае

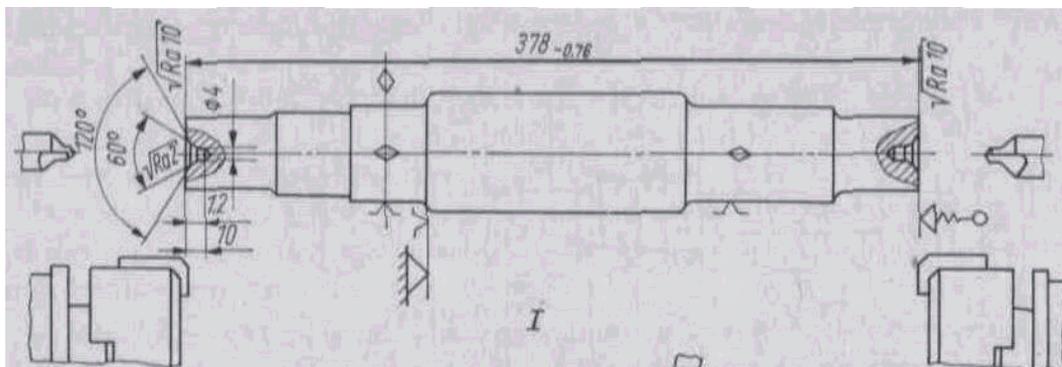


Рис. 9.14. Комбинированная параллельно-последовательная обработка вала на фрезерно-центровальном станке

образуют две группы. В соответствии с этим на станке выполняется четыре основных технологических перехода – фрезерование двух торцевых поверхностей с обеих сторон вала и последующее сверление двух центровых гнезд. Первые два фрезерных перехода выполняют одновременно, а затем после отвода фрез одновременно обрабатывают два центровых гнезда. Так как продолжительность параллельно выполняемых переходов одинакова, то основное технологическое время составит:

$$t_{от} = t_{оф} + t_{ос},$$

где $t_{\text{оф}}$, $t_{\text{ос}}$ – основное технологическое время, затрачиваемое соответственно на фрезерование и сверление.

Совмещение во времени основных технологических переходов широко применяют на станках полуавтоматах и автоматах в серийном и массовом производствах. С этой целью на токарных многорезцовых, на агрегатных и других одношпиндельных и многошпиндельных станках создают многоинструментальные наладки, обеспечивающие максимальную концентрацию и совмещение основных технологических переходов.

При выполнении сборочных операций уменьшения основного технологического времени достигают путем применения различных средств механизации ручных работ. С этой целью широко применяют подъемно-транспортное оборудование (консольные и мостовые краны, подъемники), обеспечивающее перемещение, ориентацию и установку собираемых сборочных единиц. Широко применяют различную сборочную оснастку (гайковерты, динамометрические ключи, съемники) и приспособления, обеспечивающие придание требуемого относительного положения соединяемым деталям, их фиксацию и выполнение работ, связанных с регулированием, пригонкой, контролем и испытанием собранных изделий.

Сокращение вспомогательного времени также имеет существенное значение для повышения производительности изготовления деталей на станках. При работе на универсальных станках, а также на тяжелых станках, предназначенных для изготовления крупногабаритных деталей, затраты времени на выполнение вспомогательных переходов могут превышать продолжительность основных технологических переходов. Так, например, установка и выверка крупногабаритной заготовки на тяжелом станке может занимать от двух до шести и более часов.

Обработка заготовок на мощных современных станках при высоких режимах с использованием режущего инструмента, оснащенного твердыми сплавами, металлокерамикой и сверхтвердыми материалами, позволяет существенно уменьшить машинное время. В результате этого удельная составляющая машинного времени в оперативном значительно снижается, а доля вспомогательного времени возрастает. На многих операциях затраты времени на выполнение вспомогательных переходов превышают машинное время, уменьшение которого не дает ощутимого эффекта. Поэтому сокращение вспомогательного времени

в ряде случаев является решающим фактором повышения производительности технологических операций.

Вспомогательные переходы могут быть ручные и машинно-ручные. Время, затрачиваемое на их выполнение, можно объединить в следующие группы:

- время на установку, переустановку и съем заготовок;
- время на подвод и отвод инструмента при выполнении определенного технологического перехода;
- время на изменение режимов обработки и замену режущего инструмента;
- время на выполнение измерений полученных параметров точности детали.

Продолжительность вспомогательного времени можно уменьшить сокращением времени на выполнение вспомогательных переходов или совмещением выполнения вспомогательных переходов с основными переходами.

Время на установку, выверку и закрепление заготовки уменьшают применением универсальных или специальных приспособлений, обеспечивающих требуемую ориентацию заготовки на станке. С этой целью применяют также различные по конструкции быстродействующие механические, пневматические и электромеханических зажимные устройства, которые встраивают в приспособления.

При ручном закреплении заготовок необходимо стремиться к уменьшению числа типоразмеров применяемых крепежных средств и независимых зажимов. Затраты времени на закрепление заготовок вручную сокращаются при использовании нормализованных крепежных элементов в виде болтов, прижимных планок, разрезных шайб и пружин, обеспечивающих возврат прихватов и прижимных планок, а также при обеспечении доступности к местам закрепления.

Уменьшения времени, затрачиваемого на управление станком, достигают путем механизации и автоматизации функций управления, путем концентрации управления в одном месте, для чего применяют переносные пульты и располагают элементы управления в удобном для рабочего месте. На тяжелых станках пульты управления дублируют, что позволяет рабочему управлять станком, находясь в различных точках рабочего места.

Основным мероприятием по сокращению затрат вспомогательного времени является введение механизмов ускоренных перемещений ра-

бочих органов станка и механизмов быстрой замены режущих инструментов. В качестве примера на рис. 9.15 показана схема конструкции цангового патрона для быстрой замены концевых режущих инструментов. Зажим и отжим инструмента осуществляются путем поворота гайки 2 относительно корпуса 1. При вращении гайки стальной шарик 3 передвигает втулку 4, которая смещает цангу 5 вдоль конического отверстия корпуса. В результате упругие элементы цанги перемещаются в радиальном направлении и закрепляют инструмент. Винт 6 обеспечивает дополнительное крепление, исключая возможность осевого смещения инструмента.

Скорость вспомогательных перемещений рабочих органов на станках непрерывно повышается, и в настоящее время на обрабатывающих центрах она достигает 10 – 12 м/мин.

На автоматизированном станочном обо-

рудовании вспомогательные переходы выполняются автоматически в цикле работы станка, что значительно снижает их продолжительность. Для замены режущего инструмента, установки и закрепления заготовок применяют роботы, встроенные манипуляторы, спутники. При этом выполнение этих переходов может быть полностью или частично совмещено, что приводит к дополнительному сокращению затрат вспомогательного времени.

Для управления процессом обработки рабочий должен систематически контролировать получаемые параметры точности детали, состояние станка, приспособлений и инструментов. Уменьшения вспомогательного времени, затрачиваемого на контроль за ходом выполнения технологического процесса, достигают применением систем активного контроля. Применение таких систем на круглошлифовальных, внутришлифовальных и шлицшлифовальных станках позволяет на основе автоматизации процесса измерения точности диаметральных размеров управлять циклом работы станка. При достижении заданных раз-

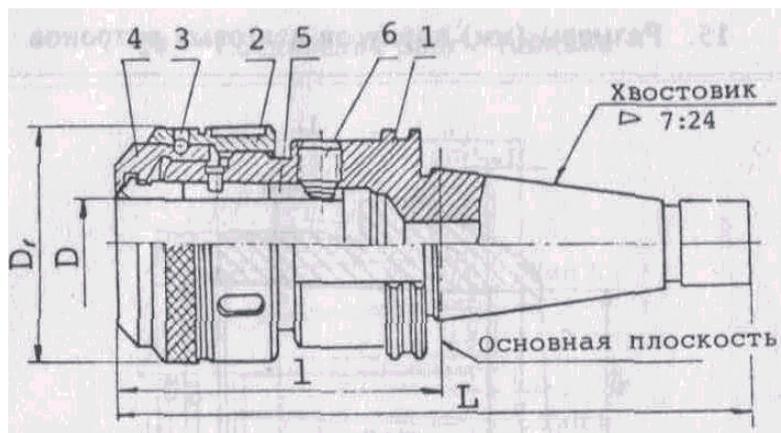


Рис. 9.15. Цанговый патрон для быстрой замены режущего инструмента

меров детали система дает команды на переход с предварительного шлифования на чистовое и на выхаживание, осуществляя автоматическое переключение режимов обработки – скорости резания и подачи. Команда на прекращение шлифования и автоматический останов станка подается при достижении требуемой точности размера детали.

Сокращения вспомогательного времени, связанного с выполнением измерений, достигают также при использовании устройств цифровой индикации и систем типа про-эмулятор. Устройства цифровой индикации постоянно выдают информацию о положении рабочих органов станка по соответствующим координатам. Перемещения рабочих органов по координатам непрерывно отслеживают встроенные датчики измерительной системы станка. Эти устройства позволяют рабочему быстро согласовать положение нолей отсчета координатных систем станка, приспособления, инструмента, детали, обеспечив существенное сокращение вспомогательного времени на настройку и поднастройку технологической системы.

Про-эмулятор представляет собой более развитую компьютерную информационную систему, устанавливаемую на универсальные станки. На экране компьютера система показывает рабочему не только координаты положения рабочих органов, но также рабочую зону станка с имитацией перемещения заготовки, режущего инструмента и базовых элементов приспособления [34, 35]. На дисплей выводится контур поверхности готовой детали и двумя параллельными линиями красного и желтого цветов показываются допускаемые предельные отклонения задаваемых размеров. Информация о геометрии детали, заготовке и предусмотренных технологических переходах вводится в систему с помощью флеш-памяти или твердого диска. Про-эмулятор может последовательно работать в каждом из трех основных режимов, выбираемых рабочим из меню. В режиме «демо» на экране без подключения оборудования демонстрируются имитации технологических переходов, которые рабочий должен выполнить на универсальном станке для изготовления данной детали. В режиме «наставник» система осуществляет информационную поддержку рабочего при изготовлении на станке первой детали путем постоянной подачи подсказок, поступающих через компьютер. Эти подсказки можно условно разделить на два вида:

1. Подсказки, направленные на достижение точности размеров изготавливаемой детали. Выполнение этих подсказок контролирует сама

система. На экран выводится «прицел» (круг с перекрестием), в который при выполнении статической настройки рабочий должен привести вершину отображаемого резца. В начальный момент круг прицела отображается красным цветом, а при достижении требуемой точности, когда вершина инструмента попадает в заданную точку, цвет круга меняется на белый.

2. Подсказки, направленные на безусловное выполнение в требуемой последовательности основных и вспомогательных переходов, заданных в операционной технологии на данную деталь. Эти подсказки система выводит на экран фрагментами текстовых файлов, например, «Установить заготовку в центрах, зажать кулачками». Подтверждение выполнения этих подсказок дает сам рабочий при нажатии кнопки «готов». После этого система текстовым файлом определяет следующий переход и позволяет рабочему перейти к его выполнению.

В режиме «мастер» система осуществляет постоянный контроль за обработкой, выполняемой квалифицированным рабочим при изготовлении данных деталей. На экране высвечивается контур заготовки, наложенный на контур готовой детали, и отслеживаются перемещения инструмента при снятии припуска. В процессе размерной настройки для согласования полей отсчета координатных систем станка, инструмента, детали рабочий выбирает вспомогательные режимы «микроскоп» и «привязка», что позволяет осуществить размерную привязку к заготовке каждого из режущих инструментов с учетом выполнения пробных проходов.

На экране дисплея можно отображать отдельные участки зоны обработки, размеры которых при необходимости можно увеличивать или уменьшать. При команде «линза» на экран подается увеличенное изображение обрабатываемого участка и режущего инструмента с наложенной размерной сеткой (рис. 9.16). Линия 1 красного цвета соответствует нижнему предельному отклонению профиля нарезаемой винтовой поверхности, линия 2 желтого цвета соответствует верхнему пре-

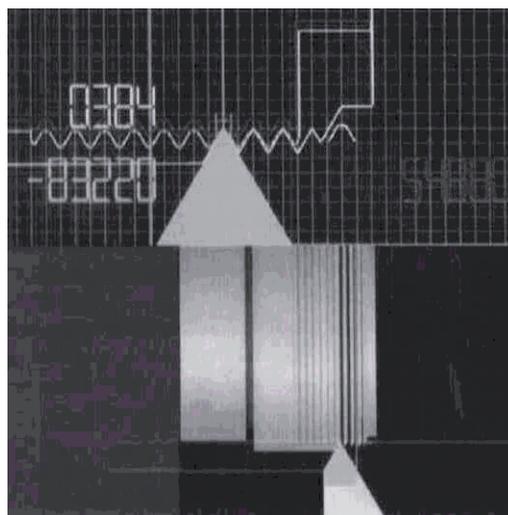


Рис. 9.16. Отображение на дисплеи участка обработки в увеличенном виде

дельному отклонению профиля, линия 3 белого цвета отображает изменяемый контур детали. Справа от резца контур представляет прорезанную винтовую поверхность, а с левой стороны – цилиндрическую поверхность заготовки. На экране отображаются также численные значения координат резца в мкм, отсчитываемые от принятых баз. Слева указывается поперечная координата $X = -83.220$, справа – продольная $Z = 54.880$.

Модернизация универсальных металлорежущих станков (токарных, фрезерных и других) путем оснащения их системой про-эмулятор заключается в установке датчиков, определяющих перемещения узлов станка по управляемым координатам, сопряжение датчиков через специальный интерфейс с компьютером, в который вводится комплект специального программного обеспечения. Наличие системы позволяет передавать на станки в электронном виде операционную технологию изготовления деталей и протоколировать в реальном времени процесс обработки с выявлением проблемных переходов. Система про-эмулятор существенно облегчает рабочему изготовление сложных деталей, она может быть использована также для обучения рабочих с целью повышения их квалификации. Применение системы расширяет технологические возможности станочного оборудования и позволяет на 20 – 30 % повысить производительность обработки за счет сокращения вспомогательного времени при изготовлении деталей.

Для сокращения вспомогательного времени, связанного с диагностикой состояния узлов станка, с текущей оценкой процесса обработки и состояния режущего инструмента, в станки встраивают элементы систем адаптивного управления – датчики силы резания, крутящих моментов, упругих перемещений, температуры и потребляемой мощности. Информация, получаемая с этих датчиков, позволяет рабочему установить правильные режимы обработки, выбрать необходимое число проходов и своевременно заменить затупившийся режущий инструмент.

Совмещение во времени выполнения основных и вспомогательных переходов является важным резервом уменьшения продолжительности оперативного времени и повышения производительности технологических операций. Совмещение основных вспомогательных переходов может быть полным или частичным.

Такое технологическое решение широко применяют на станках полуавтоматах и автоматах в крупносерийном и массовом производ-

ствах. Наглядным примером этого является схема обработки отверстия зубчатого колеса на четырехпозиционном вертикальном сверлильно-расточном полуавтомате (см. рис. 1.3). На позиции I происходит установка и съём заготовки и одновременно с этим на позициях II, III, IV выполняются основные технологические переходы – сверление, зенкование и развертывание отверстий в других заготовках.

В данном случае за время полного оборота стола, которое равно продолжительности цикла работы полуавтомата $T_{ц}$, происходит изготовление четырех деталей. Это означает, что штучное время изготовления одной детали составляет $t_{шт} = T_{ц} / 4$. Оно включает сумму машинного времени одного наиболее продолжительного перехода $T_{маш}$ и вспомогательного времени $t_{в}$, которое затрачивается на поворот стола от одной позиции к другой $t_{шт} = T_{маш} + t_{в}$.

Карусельно-фрезерные станки с круглым непрерывно вращающимся столом применяют для обработки корпусных деталей небольших размеров. Они имеют одну или несколько фрезерных головок с вертикальным расположением шпинделей для обработки горизонтальных поверхностей. При наличии на станке трех головок на первые две устанавливаются фрезы диаметром 250...300 мм для чернового фрезерования, а на последнюю устанавливают фрезу диаметром 500...600 мм для чистового фрезерования. Обрабатываемые заготовки закрепляют в приспособлениях, расположенных по периметру стола. Установка и съём заготовок выполняются вне зоны обработки одновременно с процессом резания, который осуществляется при непрерывном вращении стола. Близкое расположение заготовок обеспечивает возможность перекрытия участков на входе и выходе фрез. Непрерывная, параллельно-последовательная черновая и чистовая обработка заготовок при совмещении во времени основных и вспомогательных переходов позволяет получить высокую производительность.

В серийном производстве на универсально-фрезерных станках в целях повышения производительности осуществляют совмещение основных и вспомогательных переходов путем выполнения обработки по «маятниковой» схеме (рис. 9.17). На столе станка в позициях I и II устанавливают два приспособления для обработки одинаковых заготовок. Во время фрезерования заготовки, установленной на позиции в одном конце стола, рабочий снимает деталь и устанавливает новую заготовку на позиции в другом конце стола. По окончании обработки заготовки в одной позиции стол на ускоренной подаче возвращают к дру-

гой позиции, включают рабочую подачу и обрабатывают очередную заготовку. Затем подобный цикл обработки повторяется.

Эффективным методом повышения производительности при обработке заготовок

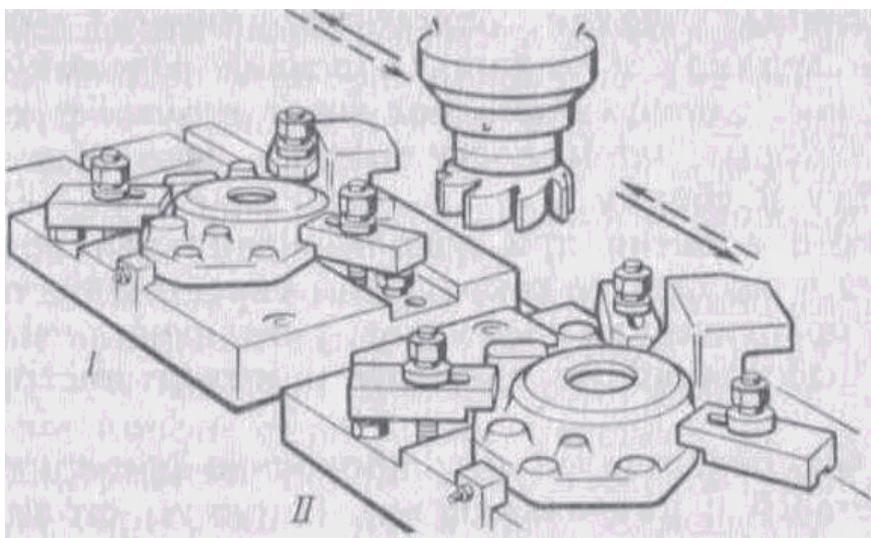


Рис. 9.17. Обработка двух заготовок на универсально-фрезерном станке по «маятниковой» схеме

корпусных деталей на продольно-фрезерных станках является фрезерование в перекладку. На столе станка устанавливают специальное многоместное приспособление, на котором обрабатываемые заготовки оказываются

определенным образом ориентированными относительно стола станка и инструмента (рис. 9.18). Фрезерование в перекладку можно выполнять по схеме однопоточной (рис. 9.18, а) или двухпоточной (рис. 9.18, б) обработки. В первом случае заготовку обрабатывают в позиции 1 по поверхностям А и В; в позиции 2 – по поверхностям Б и Г; в позиции 3 – по поверхности Д. Во втором случае в двух позициях 1 обрабатывают поверхности К и Л, а в позициях 2 – поверхности М и Н.

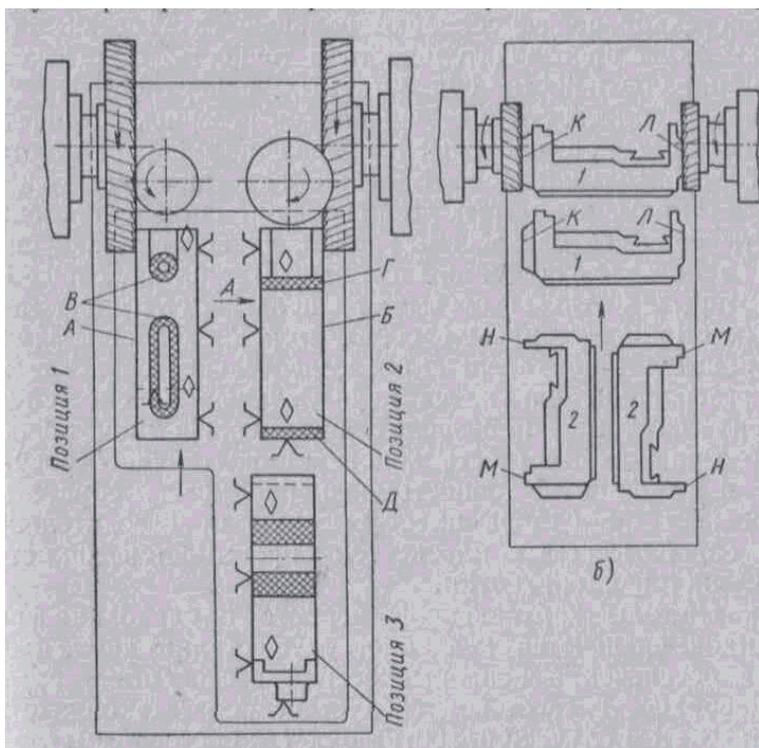


Рис. 9.18. Обработка заготовок на продольно-фрезерных станках «в перекладку»: а – по однопоточной схеме; б – по двухпоточной схеме

чае в двух позициях 1 обрабатывают поверхности К и Л, а в позициях 2 – поверхности М и Н.

За один рабочий ход в каждой позиции соответствующими фрезами обрабатывают одну или несколько поверхностей заготовок. После каждого рабочего хода стола заготовки переключают с предыдущей позиции в последующую. В случае однопоточной обработки переключают по одной заготовке, а при двухпоточной – по две. В результате по окончании рабочего хода с последней позиции снимают готовую деталь, а на первую позицию устанавливают новую заготовку. При этом одновременно можно обрабатывать одинаковые или разные заготовки. В последнем случае обычно обрабатывают заготовки сопряженных деталей одного комплекта типа крышка – корпус или верхнюю и нижнюю половины разъемных корпусов. Таким образом, одновременно получают комплект сопряженных деталей, которые затем поступают на последующую обработку или сборку. Уменьшение штучного времени при использовании изложенного метода происходит в результате сокращения числа переустановок на станке, совмещения технологических переходов, уменьшения вспомогательных ходов и расстояний на врезание и выход инструмента.

Совместная обработка заготовок

С увеличением количества изготавливаемых деталей прибегают к их совместной обработке, что позволяет существенно уменьшить штучное время и увеличить производительность оборудования. При этом заготовки на столе станка или в приспособлении могут быть установлены и обработаны последовательно, параллельно или комбинированно (рис. 9.19).

В процессе совместной обработки на заготовках одновременно могут обрабатывать несколько поверхностей, как это показано на примере продольного фрезерования на рис. 9.20. Совместную обработку группы заготовок во многих случаях выполняют с использованием многоместных приспособлений, которые позволяют с требуемой точностью быстро сориентировать и закрепить заготовки, сократив при этом затраты вспомогательного времени. Многоместные приспособления в ряде случаев делают в виде сменных столов. Наличие двух таких столов позволяет на одном из них

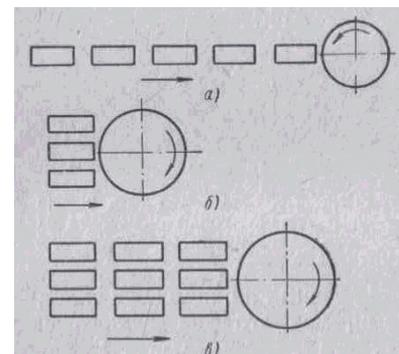
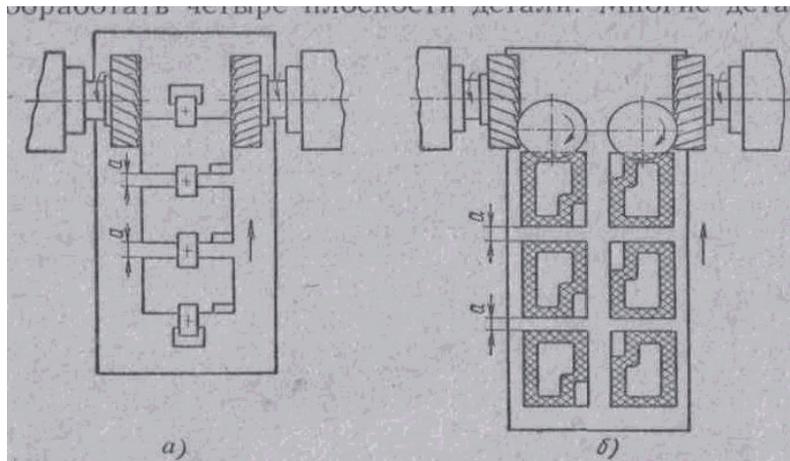


Рис. 9.19. Возможные схемы установки заготовок при совместной обработке: *а* – последовательная; *б* – параллельная; *в* – комбинированная

выполнять обработку, а на втором одновременно вне станка снимать полученные детали и закреплять новые заготовки, обеспечивая, таким образом, совмещение



основного и вспомогательного времени для группы деталей.

Рассмотрим возможности выявления резервов уменьшения оперативного времени при совместной обработке заготовок на примере торцевого фрезерования. Для этого представим формулу (9.4), определяющую оперативное время при изготовлении детали в следующем виде:

$$t_{\text{оп}} = \left[\sum_{j=1}^{j=n} \frac{L_{\text{д}}}{s_{\text{м}}} + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{l_1 + l_2}{s_{\text{м}}} \right] \cdot i + \sum_{j=1}^{j=p} t_{\text{у.с}} + \sum_{j=1}^{j=n} t_{\text{уп}}, \quad (9.14)$$

где $L_{\text{д}}$ – длина обрабатываемой поверхности;

l_1 и l_2 – соответственно длина врезания и выхода фрезы на рабочей подаче;

$s_{\text{м}}$ и i – продольная подача (мм/мин) и число последовательно выполняемых проходов;

$t_{\text{у.с}}$ и $t_{\text{уп}}$ – вспомогательное время, затрачиваемое соответственно на установку и съем заготовки и на управление станком;

n и p – число обрабатываемых поверхностей и количество переустановок заготовки при ее изготовлении.

В выражении (9.14) машинное время, затрачиваемое на перемещение узлов с рабочей подачей, определено двумя составляющими, расположенными в квадратных скобках:

$$T_{\text{маш}} = T_{\text{м.д}} + T_{\text{вр}},$$

где $T_{\text{м.д}}$ – машинное время, затрачиваемое непосредственно на резание;

$T_{\text{вр}}$ – машинное время, затрачиваемое на врезание и выход инструмента на рабочей подаче.

При фрезеровании плоской поверхности шириной B торцевой фрезой диаметром $D = 2 \cdot R$ длину врезания и выхода инструмента $l_1 = l_2$

можно определить как отрезок, проходимый на рабочей подаче до момента начала фрезерования заготовки на всю ширину обрабатываемой поверхности. Для этого можно использовать формулу

$$l_1 = l_2 = R - \sqrt{R^2 - \frac{B^2}{4}}. \quad (9.15)$$

В зависимости от соотношения диаметра D применяемой фрезы и ширины фрезеруемой поверхности B расстояние на врезание и выход фрезы $l_1 = l_2$ можно определить по таблице:

Диаметр фрезы D	$D = B$	$D = 1,2 \cdot B$	$D = 1,4 \cdot B$	$D = 1,6 \cdot B$	$D = 2 \cdot B$
$l_1 = l_2$	$0,5 \cdot B$	$0,28 \cdot B$	$0,22 \cdot B$	$0,18 \cdot B$	$0,14 \cdot B$

Для случая совместной обработки на проход одной поверхности у последовательно установленных на столе заготовок (см. рис. 9.19, а) машинное время составит

$$T_{\text{м.д}} = \frac{m \cdot L_{\text{д}}}{S_{\text{м}}},$$

где m – число последовательно обрабатываемых заготовок.

В свою очередь, машинное время, затрачиваемое на врезание и выход инструмента у первой и последней заготовок, а также время на прохождение с рабочей подачей промежутков a между заготовками будет равно

$$T_{\text{вр}}^{(m)} = (m - 1) a / s + T_{\text{вр}}.$$

Это время по продолжительности будет меньше, чем машинное время, затрачиваемое на врезание при раздельной обработке m заготовок:

$$T_{\text{вр}}^{(m)} = (m - 1) a / s + T_{\text{вр}} < m \cdot T_{\text{вр}}.$$

Получаемая разность $\Delta T_{\text{маш}}^{(m)} = m \cdot T_{\text{вр}} - T_{\text{вр}}^{(m)}$ определяет снижение машинного времени $\Delta T_{\text{маш}}$ при обработке партии m заготовок:

$$\Delta T_{\text{маш}}^{(m)} = (m - 1) (T_{\text{вр}} - a / s). \quad (9.16)$$

Снижение машинного времени $\Delta T_{\text{маш}}$, приходящееся на одну деталь, соответственно составит

$$\Delta T_{\text{маш}} = \frac{m - 1}{m} \cdot (T_{\text{вр}} - a / s). \quad (9.17)$$

В случае установки заготовок вплотную, когда расстояние между ними $a = 0$, имеет место дополнительное уменьшение машинного времени и выражения (9.16), (9.17) соответственно принимают вид

$$\Delta T_{\text{маш}}^{(m)} = (m - 1) \cdot T_{\text{вр}}; \quad \Delta T_{\text{маш}} = \frac{m - 1}{m} \cdot T_{\text{вр}}.$$

Дополнительным резервом уменьшения оперативного времени является снижение вспомогательного времени на управление станком при совместной обработке заготовок $\Delta t_{\text{уп}}^{(m)}$ по сравнению с временем, которое затрачивается на обработку такого же количества одиночных заготовок. Если для обработки одной заготовки затраты времени на управление станком составляют $t_{\text{уп}}$, то для обработки партии одиночных заготовок в количестве m штук они составляют $t_{\text{уп}}^* = m \cdot t_{\text{уп}}$. Между тем как при групповой обработке настройка происходит так же, как и при одной заготовке, с теми же затратами времени на управление $t_{\text{уп}}^{(m)} = t_{\text{уп}}$. Таким образом, снижение вспомогательного времени на управление станком составляет

$$\Delta t_{\text{уп}}^{(m)} = t_{\text{уп}}^* - t_{\text{уп}}^{(m)} = (m - 1) \cdot t_{\text{уп}}. \quad (9.18)$$

Если совместная обработка осуществляется без применения сменных столов, выполняющих роль многоместных приспособлений, то продолжительность вспомогательного времени на установку и съём заготовок при групповой обработке $t_{\text{у.с}}^{(m)}$ и при обработке одиночных заготовок $t_{\text{у.с}}^*$ будет одинаковой:

$$t_{\text{у.с}}^{(m)} = t_{\text{у.с}}^* = \sum_{k=1}^{k=m} t_{\text{у.с}}.$$

Однако в случае применения на станке сменных столов установку и съём заготовок выполняют вне станка параллельно с обработкой другой группы заготовок. В результате имеет место дополнительное сокращение вспомогательного времени за счет совмещения основных и вспомогательных переходов:

$$\Delta t_{\text{у.с}}^{(m)} = t_{\text{у.с}}^* = \sum_{k=1}^{k=m} t_{\text{у.с}}. \quad (9.19)$$

Таким образом, суммарное уменьшение оперативного времени при однопоточной последовательной обработке m заготовок с использованием сменных столов составляет

$$\Delta t_{\text{оп}}^{(m)} = \Delta T_{\text{мап}}^{(m)} + \Delta t_{\text{уп}}^{(m)} + \Delta t_{\text{у.с}}^{(m)}, \quad (9.20)$$

или с учетом (9.16), (9.18), (9.19) получим

$$\Delta t_{\text{оп}}^{(m)} = (m - 1) \cdot (T_{\text{вр}} - a/s) + (m - 1) \cdot t_{\text{уп}} + \sum_{k=1}^{k=m} t_{\text{у.с}}. \quad (9.21)$$

При совместной обработке заготовок без применения сменных столов последний член в выражении (9.20) принимается равным нулю: $t_{\text{у.с}}^{(m)} = 0$.

В случае совместной обработки параллельно установленным заготовкам (см. рис. 9.20, б) имеет место совмещение во времени основных технологических переходов у всех одновременно обрабатываемых за-

готовок. В результате этого сокращение машинного времени при параллельной обработке k заготовок составит

$$\Delta T_{\text{маш}}^{(k)} = (k - 1) \cdot T_{\text{маш}}, \quad (9.22)$$

где $T_{\text{маш}}$ – машинное время, затрачиваемое на изготовление одной заготовки.

Снижение затрат вспомогательного времени на управление станком, на установку и съем заготовок при использовании сменных столов определяется так же, как и при совместной обработке последовательно установленных заготовок по формулам (9.18), (9.19). Таким образом, согласно (9.20) уменьшение оперативного времени при совместной обработке k параллельно установленных заготовок с использованием сменных столов составит

$$\Delta t_{\text{оп}}^{(k)} = (k - 1) \cdot T_{\text{маш}} + (m - 1) \cdot t_{\text{уп}} + \sum_{k=1}^{k=m} t_{\text{y.c.}}. \quad (9.23)$$

В тех случаях, когда имеет место совместная обработка заготовок, установленных по комбинированной схеме (см. рис. 9.20, в), дополнительно сокращается оперативное время. Это объясняется тем, что при малом промежутке a между последовательно установленными заготовками происходит перекрытие расстояний на врезание и выход фрезы, а следовательно, и сокращение машинного времени. При m совместно обрабатываемых заготовок количество последовательно расположенных рядов составляет m/k , а число промежутков между ними $(m/k - 1)$. Таким образом, время, затрачиваемое на прохождение с рабочей подачей s промежутков a , а также время на врезание у первого ряда и на выход фрезы на последнем ряде заготовок составляет

$$T_{\text{вр}}^{(m)} = (m/k - 1) \cdot a/s + T_{\text{вр}}. \quad (9.24)$$

Уменьшение времени на врезание по сравнению с обработкой такого же количества одиночных заготовок $m \cdot T_{\text{вр}}$ означает снижение машинного времени: $\Delta T_{\text{маш}}^{(m)} = m \cdot T_{\text{вр}} - T_{\text{вр}}^{(m)}$, и после подстановки (9.24) и преобразования получим

$$\Delta T_{\text{маш}}^{(m)} = (m - 1) \cdot T_{\text{вр}} - (m/k - 1) \cdot a/s. \quad (9.25)$$

Сокращение оперативного времени при совместной обработке заготовок, установленных по комбинированной схеме, составит

$$\Delta t_{\text{оп}}^{(m,k)} = (m - 1) \cdot T_{\text{вр}} - (m/k - 1) \cdot a/s + (m - 1) \cdot t_{\text{уп}}, \quad (9.26)$$

где m – количество совместно обрабатываемых заготовок;

k – число параллельных потоков (количество заготовок, устанавливаемых в одном ряду).

В случае применения сменных столов, когда установку и съем за-

готовок выполняют вне станка параллельно с обработкой заготовок другой группы, происходит дополнительное уменьшение оперативного времени при изготовлении партии заготовок и выражение (9.26) принимает вид

$$\Delta t_{\text{оп}}^{(m,k)} = (m-1) \cdot T_{\text{вр}} - (m/k-1) \cdot a/s + (m-1) \cdot t_{\text{уп}} + \sum_{k=1}^{k=m} t_{\text{y.c.}} \quad (9.27)$$

Параллельная обработка нескольких поверхностей у совместно обрабатываемых заготовок (см. рис. 9.20, а) позволяет обеспечить дальнейшее сокращение оперативного времени. Так, например, в случае параллельной обработки нескольких поверхностей, например n , выражение (9.21) принимает вид

$$\Delta t_{\text{оп}}^{(m)} = \sum_{j=1}^{j=n} (m-1) \cdot (T_{\text{вр}} - a/s) + \sum_{j=1}^{j=n} (m-1) \cdot t_{\text{уп}} + \sum_{k=1}^{k=m} t_{\text{y.c.}} \quad (9.28)$$

Аналогично одновременная обработка нескольких поверхностей у параллельно установленных заготовок обеспечивает согласно (9.23) сокращение оперативного времени:

$$\Delta t_{\text{оп}}^{(k)} = \sum_{j=1}^{j=n} (m-1) \cdot T_{\text{маш}} + \sum_{j=1}^{j=n} (m-1) \cdot t_{\text{уп}} + \sum_{k=1}^{k=m} t_{\text{y.c.}} \quad (9.29)$$

В свою очередь, согласно (9.26), параллельная обработка нескольких поверхностей при комбинированной установке заготовок позволяет сократить машинное время на величину:

$$\Delta t_{\text{оп}}^{(m,k)} = \sum_{j=1}^{j=n} (m-1) \cdot T_{\text{вр}} - \sum_{j=1}^{j=n} (m/k-1) \cdot a/s + \sum_{j=1}^{j=n} (m-1) \cdot t_{\text{уп}} \quad (9.30)$$

А в случае применения сменных столов в выражение (9.30) добавляется составляющая (9.19):

$$\Delta t_{\text{оп}}^{(m,k)} = \sum_{j=1}^{j=n} (m-1) \cdot T_{\text{вр}} - \sum_{j=1}^{j=n} (m/k-1) \cdot a/s + \sum_{j=1}^{j=n} (m-1) \cdot t_{\text{уп}} + \sum_{k=1}^{k=m} t_{\text{y.c.}} \quad (9.31)$$

Таким образом, при различных схемах выполнения совместной обработки имеют место различные варианты совмещения основных и вспомогательных переходов, определяющие эффективное сокращение оперативного времени.

9.4. Расчет себестоимости изготовления изделия

Изготовление машины (изделия) связано с расходами на материалы, затратами живого и овеществленного труда. Затраты на материалы, средства производства и заработную плату, связанные с изготовлением машины и выраженные в денежной форме, называют *себестоимостью*, которая в зависимости от учета дополнительных затрат может быть цеховой или заводской. Следует различать себестоимость машины в целом, себестоимость ее отдельных сборочных единиц и деталей. Можно

оценивать также себестоимость отдельных операций и технологических процессов изготовления деталей или сборки узлов машины.

Подсчет себестоимости изделия называется калькуляцией. Калькуляция может быть предварительная, которую называют сметной, и последующая, получившая название отчетной (исполнительной). Предварительную калькуляцию выполняют для определения возможной плановой себестоимости, намеченной к производству машины. На основе предварительной калькуляции определяют себестоимость сборочных единиц и деталей, выбирают наиболее экономичный вариант технологического процесса изготовления деталей и варианты выполнения отдельных операций.

На основании отчетной калькуляции определяют фактические затраты на изготовление машины, ее сборочных единиц, деталей и отдельных операций. Сравнение данных отчетной и предварительной калькуляций позволяет сделать вывод о соответствии действительного технологического процесса запроектированному, а также об эффективности применяемых мероприятий по совершенствованию производства.

В настоящее время применяют два метода расчета себестоимости.

Бухгалтерский метод расчета, при котором себестоимость складывается из трех составляющих:

- расходов на материалы (M) за вычетом стоимости отходов;
- расходов на заработную плату (Z) с начислениями на нее, состоящими из отчислений на социальное страхование и оплату отпусков;
- накладных расходов, в которые входят все затраты за отчетный период, за вычетом расходов на материалы и заработную плату.

При этом накладные расходы начисляются в виде процентов к сумме расходов на заработную плату. Для определения процента накладных расходов подсчитывают сумму всех накладных расходов и сумму расходов на заработную плату за какой-либо отчетный промежуток времени (месяц, квартал или год) и берут их процентное отношение.

Себестоимость единицы продукции при этом методе определяется по формуле

$$C_1 = \sum_{i=1}^{i=p} M_i + \sum_{i=1}^{i=m} \left(1 + \frac{a_1 + a_2}{100} \right) Z_i, \quad (9.32)$$

где M_i – расходы на i -й вид материала, используемого в изделии;

p – число видов материалов, используемых в изделии;

Z_i – расходы на заработную плату;

m – количество операций, выполняемых при изготовлении единицы продукции;

a_1 – процент начислений на зарплату, относящихся к социальным расходам ($a_1 \approx 13,5 \%$);

a_2 – процент накладных расходов, начисленных на зарплату

Преимуществом данного метода является простота расчета. Основной недостаток метода – обезличивание отдельных составляющих себестоимости, что в ряде случаев не позволяет сделать правильный вывод и оценить эффективность применения новых технологических решений. Это касается применения нового оборудования и приспособлений, на которых выполняется работа, а также расходов на инструмент и других факторов.

Дифференциальный метод расчета предусматривает отдельное определение и учет основных составляющих, оказывающих существенное влияние на себестоимость единицы продукции. К таким составляющим относятся расходы на амортизацию и эксплуатацию оборудования, приспособлений, инструмента и другой технологической оснастки.

Себестоимость единицы продукции при втором методе вычисляют по формуле

$$C_2 = \sum_{i=1}^{i=p} M_i + \sum_{i=1}^{i=m} \left(И + О + П + \left(1 + \frac{a_1 + a_3}{100} \right) \cdot З_i \right), \quad (9.33)$$

где И – расходы на содержание и амортизацию инструмента на данной операции;

О – расходы на содержание и амортизацию оборудования на данной операции;

П – расходы на содержание и амортизацию приспособлений и другой технологической оснастки на данной операции;

a_3 – процент накладных расходов, начисляемых на зарплату за вычетом расходов на содержание и амортизацию оборудования, инструмента, приспособлений;

m – количество операций, выполняемых при изготовлении изделия.

Таким образом, второй метод подсчета себестоимости единицы продукции дает возможность отразить влияние основных факторов на себестоимость, что позволяет правильно оценить выбор наиболее экономичного варианта технологического процесса и способствует внедрению новых технологических решений.

Кроме себестоимости единицы продукции другими важными технико-экономическими показателями являются:

- 1) трудоемкость единицы продукции (время, затрачиваемое человеком на изготовление единицы продукции), [человеко·час];
- 2) станкоемкость (продолжительность работы оборудования при изготовлении единицы изделия) [станко·час];
- 3) выпуск продукции в штуках или в денежном выражении на одного рабочего;
- 4) выпуск продукции на 1 м² производственной площади;
- 5) выпуск продукции на единицу оборудования;
- 6) выпуск продукции на один рубль первоначальных затрат.

Трудоемкость единицы продукции определяется количеством живого труда и складывается из трудоемкости сборки единицы продукции, трудоемкости изготовления деталей, трудоемкости выполнения операций и отдельных переходов.

Показатель «станкоемкость» применяют для определения количества станков, необходимых для изготовления изделия.

Пути уменьшения себестоимости изготовления изделия

Себестоимость машины отражает совокупные затраты живого и овеществленного труда, вложенного в производственный процесс изготовления изделия. Поэтому для снижения себестоимости изделия необходимо в процессе его производства стремиться использовать ресурсосберегающие технологии, обеспечивающие экономию затрат обоих видов труда.

Снижение себестоимости продукции является одним из источников повышения материального благосостояния общества, однако это снижение не должно проводиться в ущерб качеству выпускаемой продукции. Оно не должно приводить к уменьшению срока службы машины, снижению ее надежности и увеличению расходов по ее эксплуатации.

Снижение себестоимости машины, так же как и ее отдельных сборочных единиц и деталей, может быть достигнуто путем уменьшения значений всех или отдельных слагаемых в приведенных выше формулах себестоимости.

9.5. Расходы на материал и пути их уменьшения

Расходы на материал подсчитываются по формуле

$$M = \sum_{i=1}^{i=p} G_i q_i - \sum_{j=1}^{j=p} G_j q_j, \quad (9.34)$$

где G_i – масса соответствующего материала, приходящаяся на единицу продукции; G_j – масса отходов данного материала, приходящаяся на

единицу продукции; q_i, q_j – соответственно стоимость единицы массы материала и единицы отходов; p – количество видов материалов, применяемых в изделии.

Основные пути уменьшения расходов на материал вытекают из анализа формулы (9.34):

- 1) уменьшение массы каждой марки материала, применяемого в изделии ($G_i \Rightarrow <$);
- 2) использование по возможности более дешевых материалов с наименьшей стоимостью единицы массы ($q_i \Rightarrow <$);
- 3) сокращение не используемых отходов материала;
- 4) получение отходов материалов в более ценном виде ($q_j \Rightarrow <$), что позволяет их использовать в качестве заготовок для изготовления других деталей и как дорогостоящее сырье в металлургическом производстве.

Уменьшение металлоемкости изделия, то есть сокращение массы каждой марки материалов, применяемых в его конструкции, в первую очередь, зависит от рациональности конструкции изделия, правильности принятых конструктивных решений. Причинами увеличения металлоемкости изделия являются использование конструктором приближенных методов расчета, недостаточные знания физико-механических свойств применяемых материалов, заведомое превышение запасов прочности конструкции, а также недостаточно продуманное оформление конструктивных форм деталей. Для повышения конструкционной прочности деталей при снижении их металлоемкости используют следующие направления:

- оптимизация размеров и геометрической формы с целью снижения и стабилизации возникающих в детали рабочих напряжений;
- применение конструкционных материалов необходимого качества, обладающих требуемыми стабильными физико-механическими свойствами;
- изготовление деталей с использованием технологических процессов, обеспечивающих их упрочнение, требуемую точность и стабильность структуры материала.

Правильное выявление технических требований на деталь, вытекающих из ее служебного назначения, знание условий ее работы в машине позволяют конструктору обоснованно подойти к выбору наиболее дешевого материала, применение которого не снижает качества изделия.

Эффективным решением по снижению затрат на дорогостоящие материалы является создание составных конструкций деталей из дорогих и дешевых материалов. Примерами таких конструкций являются бандажированные и биметаллические червячные колеса, представленные на рис. 9.21. Экономия дорогостоящей бронзы, обладающей хорошими антифрикционными свойствами, достигается за счет того, что бронзу применяют только для изготовления зубчатого венца. Ступицу колеса, у которой объем материала превышает объем зубчатого венца, изготавливают из более дешевых черных металлов – чугуна или стали. У бандажированных колес (рис. 9.21, а) зубчатый венец на ступицу запрессовывают, а у биметаллических колес (рис. 9.21, б) его отливают на ступице в металлической форме (в кокиле).

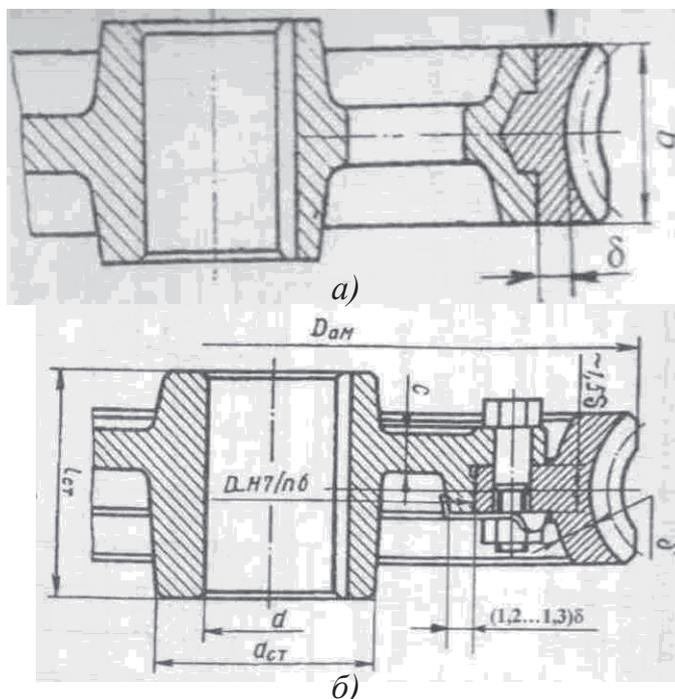


Рис. 9.21. Червячные колеса с бронзовым зубчатым венцом: а – бандажированные; б – биметаллические

Другим примером является применение в опорах скольжения втулочных подшипников и вкладышей, изготавливаемых из биметаллической ленты. Внутренняя рабочая часть таких деталей покрывается путем напыления слоем баббита (сплава оловянной или свинцовой бронзы), обладающего нужными антифрикционными свойствами, а наружная часть представляет стальную ленту (дешевая низкоуглеродистая сталь).

Для экономии дорогостоящих цветных материалов при конструировании машин и при выполнении ремонтных работ создают обратные пары трения. Изношенные втулки из дорогостоящей бронзы заменяют стальными или чугунными, а на сопрягаемую поверхность опорной ступени вала (оси) напыляют тонкий слой антифрикционного бронзового покрытия. В качестве материала покрытия для стальных валов (осей) применяют кремниво-марганцовистую бронзу Пр-БрКМц3-1 и алюминиевую бронзу ПГ-19М-01, химический состав которых приведен в табл. 9.2.

Эти материалы обладают высокими механическими, антифрикционными и коррозионно-стойкими свойствами, они устойчивы к агрессивным средам, так как на их поверхности образуется прочная защитная оксидная пленка.

Так, например, алюминиевая бронза ПГ-19М-01, обладая низким коэффициентом трения при взаимодействии со сталью ($f_{тр.} = 0,04$) и хорошей прирабатываемостью, что обеспечивает незначительный износ поверхности сопряженной детали, имеет высокую прочность (до 500 МПа) и достаточную по служебному назначению твердость (до 180 НВ).

Таблица 9.2

Химический состав напыляемых бронзовых материалов

Марка материала	Вид напыляемого материала	Химический состав, %
Пр-БрКМц3-1 ГОСТ 16130 – 90	Проволока	Si – 3 %, Mn – 1 %, Cu – 96 %
ПГ-19М-01 ТУ 48 – 19 – 383 – 91	Порошок	Al – 10,5 %, Fe – не более 4 % , Cu – не менее 85,5 %

Практика показывает, что продолжительность работы таких опор увеличивается в 1,8 – 2 раза по сравнению с традиционно применяемыми втулочными бронзовыми подшипниками. На одном ткацком станке типа СТБ (станок ткацкий бесчелночный) имеется более 70 опор с бронзовыми втулками. Поэтому экономический эффект, получаемый при их замене, обеспечивается не только за счет уменьшения расхода бронзы, но также за счет сокращения простоев оборудования из-за его отказов.

Для сокращения расходов дорогостоящих цветных материалов взамен бронзовых втулок применяют также пористые спеченные материалы (ПСМ), получаемые методом порошковой металлургии. При этом в качестве основы антифрикционной порошковой композиции используют не только бронзу, но и железографитовые материалы [28]. В ряде устройств взамен бронзовых втулок применяют втулки, изготовленные из полимерных материалов на основе фторопласта-4, которые позволяют обеспечить коэффициент трения в опоре $f_{тр.} = 0,1 \dots 0,35$.

Наглядным примером экономии дорогостоящих материалов является конструкция выхлопного клапана двигателя внутреннего сгорания (рис. 9.22), в котором головка, работающая в потоке горящих газов с высокой температурой, выполнена из жаростойкой легированной ста-

ли 40X10C2M, а ножка выполнена из более дешевой стали 40X. Жаростойкая сильхромовая сталь 40X10C2M допускает температуру нагрева 500...600 °С, что отвечает служебному назначению клапана.

Во многих случаях экономию металла и снижение металлоемкости изделия получают путем изготовления малонагруженных деталей типа крышек, маховиков, втулок, кожухов, заглушек из композиционных материалов на металлической и неметаллической основе (пластмассы, фторопласт, древопластик и др.).

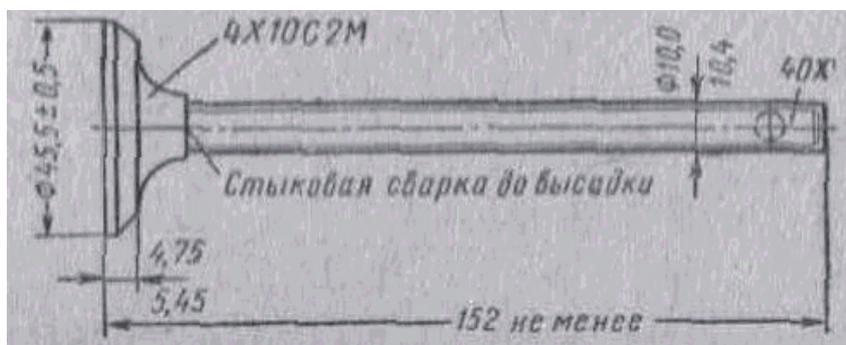


Рис. 9.22. Схема конструкции клапана с использованием двух материалов

В процессе механической обработки при снятии припуска значительная часть материала уходит в стружку. Поэтому для сокращения потерь материала необходимо стремиться к использованию более точных заготовок, геометрия и размеры которых наиболее близко приближаются к готовой детали. Этого достигают путем применения более совершенных методов получения заготовок. Вместо литья в формовочную смесь применяют литье в кокиль, литье в оболочковые формы или литье по выплавляемым моделям. Грубые заготовки – поковки, получаемые свободной ковкой, – заменяют на более точные штамповки, которые получают в подкладных, открытых или закрытых штампах. Важное значение при этом имеет правильный расчет припусков и операционных размеров на обрабатываемые поверхности. Уменьшение отходов металла в стружку сокращает не только расходы на материал, но также позволяет уменьшить трудоемкость механической обработки и снизить связанные с этим непроизводительные затраты работы оборудования и рабочих.

Оценить рациональность использования материала при изготовлении детали позволяет коэффициент использования материала η , представляющий отношение массы материала готовой детали $G_{дет}$ к массе ее заготовки $G_{заг}$:

$$\eta = \frac{G_{дет}}{G_{заг}}. \quad (9.35)$$

Чем выше значение коэффициента использования материала ($\eta \leq 1$),

тем меньше потери материала при изготовлении данной детали. Сравнение значений коэффициента использования материала, получаемых при использовании различных заготовок, наглядно показывает рациональность использования материала при выборе более точных заготовок. Масса отходов материала G_j , приходящаяся на одну деталь, составляет:

$$G_j = G_{\text{заг}} - G_{\text{дет}} \quad (9.36)$$

Если при сравнении двух вариантов известна масса заготовки для нового G_n и базового G_0 вариантов технологического процесса, то экономия материала ΔG при заданном годовом объеме выпуска изделий N можно рассчитать по формуле

$$\Delta G = (G_0 - G_n) \cdot N. \quad (9.37)$$

Первоначально в качестве заготовки для горизонтально-фрезерного станка использовали отливку, получаемую путем литья в землю. Масса такой отливки составляла 107 кг. При получении заготовки путем литья в кокиль ее масса уменьшилась до 85 кг, то есть на 20,6 %. Уменьшение припусков на заготовке позволило снизить трудоемкость механической обработки заготовки на 29 % (с 23,14 до 16,4 норма-ч).

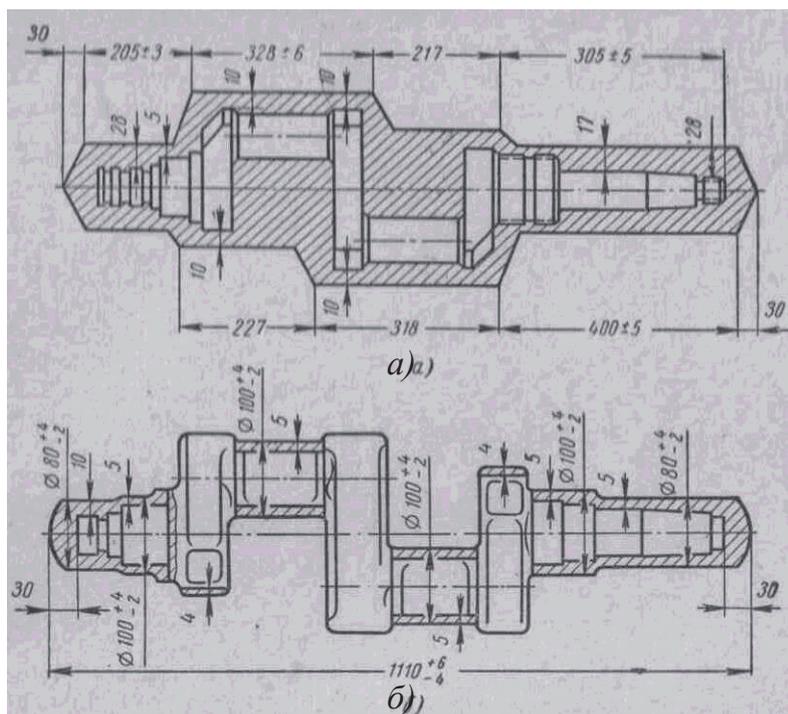


Рис. 9.23. Заготовки коленчатого вала: а – полученная свободной ковкой; б – полученная штамповкой в закрытых штампах

В качестве примера на рис. 9.23 представлены эскизы заготовок коленчатого вала, получаемые двумя различными способами. Первая заготовка (рис. 9.23, а) получена свободной ковкой, ее масса составляет 162,7 кг. Это грубая заготовка невысокой точности, она имеет большие припуски и огранку на цилиндрических поверхностях. Вторая заготовка (рис. 9.23, б) получена штамповкой в закрытых штампах, ее масса 87 кг. Вторая заготовка более точная, она имеет значительно меньшие припуски, так как ее геометрия и размеры

приближены к готовой детали. Таким образом, применение заготовки-штамповки позволяет сократить расход металла почти в 2 раза. Дополнительным эффектом применения точной заготовки является уменьшение трудоемкости ее механической обработки. В данном случае при одинаковом масштабе выпуска и использовании одного и того же оборудования трудоемкость механической обработки первой заготовки составляет 40,6 норма-ч, а второй – 19 норма-ч. Это означает, что при использовании более точной заготовки-штамповки трудоемкость механической обработки коленчатого вала сокращается на 59 %, а коэффициент использования материала увеличивается в 1,87 раза.

Потери материалов существенно сокращаются с уменьшением стадий преобразования, проходимых природным ресурсом до его превращения в необходимое для человека изделие. На этапе механической обработки деталей потери металла возрастают с увеличением числа выполняемых технологических операций. Поэтому при проектировании технологий необходимо стремиться к получению изделия непосредственно из полуфабриката с минимальным числом выполняемых операций. Наглядным примером этому являются потери металла, получаемые при двух вариантах технологического процесса изготовления болтов диаметром М10 (рис. 9.24). Согласно первому варианту болты изготавливают точением на токарно-револьверном автомате с использованием в качестве заготовки шестигранного прутка. По второму варианту болты изготавливают путем холодного выдавливания (деформирования) на современном холодно-

высадочном автомате с использованием в качестве заготовки круглого прутка. Получение болтов холодной высадкой за пять переходов, показанных на рис. 9.23, позволяет в 2,4 раза сократить потери металла по

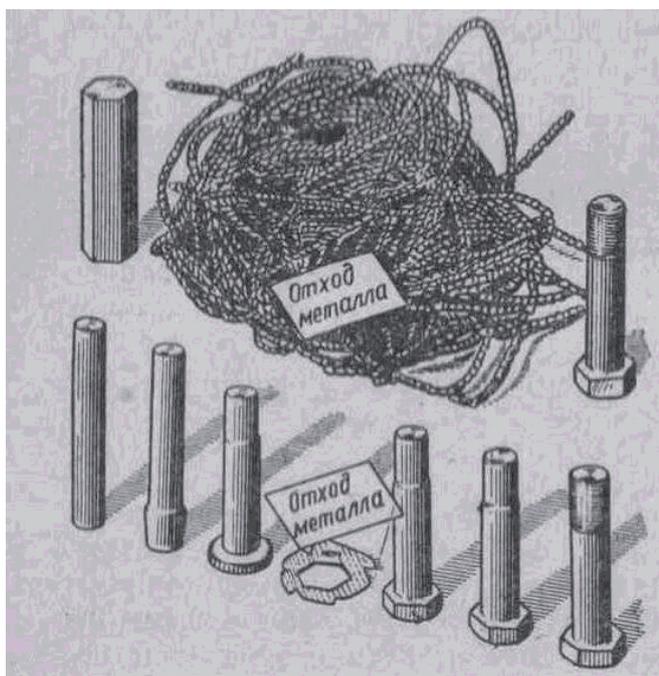


Рис. 9.24. Отходы металла, получаемые при двух вариантах изготовления болтов

сравнению с точением на токарно-револьверном автомате, где большая часть металла превращается в стружку.

Примером экономии материала и сокращения затрат на изготовление детали может служить перевод конструкции передней тормозной камеры колеса автомобиля с литой на штампо-сварную (см. рис. 8.14, а). Литая заготовка камеры имеет массу 1,8 кг, а масса штампо-сварной заготовки снижается до 0,44 кг, то есть на 75,6 %. Это позволяет снизить трудоемкость механообработки камеры с 9,6 до 2,71 мин, или на 71,8 %, в результате себестоимость ее изготовления уменьшается на 64 %.

Уменьшение трудоемкости операций механической обработки при использовании более точных заготовок в ряде случаев позволяет получить экономический эффект, превышающий расходы, получаемые от экономии материала. Если известна трудоемкость изготовления детали при базовом варианте технологического процесса $t_б$, когда масса применяемой заготовки $G_б$ и масса заготовки $G_н$ при новом методе ее получения, то для предварительной оценки трудоемкости изготовления детали по новому варианту $t_н$ можно использовать формулу

$$t_н = t_б \cdot G_н / G_б. \quad (9.38)$$

Покажем применение этой формулы для получения достаточно точного прогноза по оценке трудоемкости на основе числовых данных, приведенных выше примеров выбора заготовок. Для этого заготовки большей массы условно отнесем к «базовому» варианту, обозначив их параметры $G_б$ и $t_б$, а заготовки меньшей массы будем считать как новый вариант и соответственно обозначим $G_н$ и $t_н$. Исходные данные и результаты расчета сведены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Оценка трудоемкости механической обработки при выборе заготовок

Детали	Метод получения заготовки	Масса заготовок, кг	Трудоемкость механообработки, час	
			Фактическая	Расчетная
Стол фрезерного станка	Литье в землю	$G_б = 107$	23,14	—
	Литье в кокиль	$G_н = 85$	16,4	18,38; (10 %)*
Коленчатый вал	Свободная ковка	$G_б = 162,7$	40,6	—
	Штамповка	$G_н = 87,19$	19	21,7; ()*
Тормозная камера	Отливка	$G_б = 1,8$	9,6 (мин)	—
	Штампо-сварная	$G_н = 0,44$	2,71 (мин)	2,34 (мин) (13 %)*

*в скобках дана относительная погрешность расчета в процентах.

Таким образом, согласно расчетам по формуле (9.38), приведенным в табл. 9.3, погрешность предварительного определения трудоемкости изготовления детали при выборе новой, более точной заготовки не превышает 14 %.

На операциях листовой штамповки и на операциях раскроя заготовок из листового материала существенную экономию металла получают при рациональном раскрое листов с использованием компьютерных технологий и выполнении точной резки материала. В ряде случаев экономию материала получают путем небольших изменений конструктивных форм деталей, направленных на сокращение отходов. В качестве примера на рис. 9.25 приведены две схемы раскроя полосы при листовой штамповке – нерациональный раскрой (рис. 9.25, *a*) и рациональный раскрой (рис. 9.25, *б*), полученный путем изменения геометрии детали в пределах допустимых возможностей ее служебного назначения.

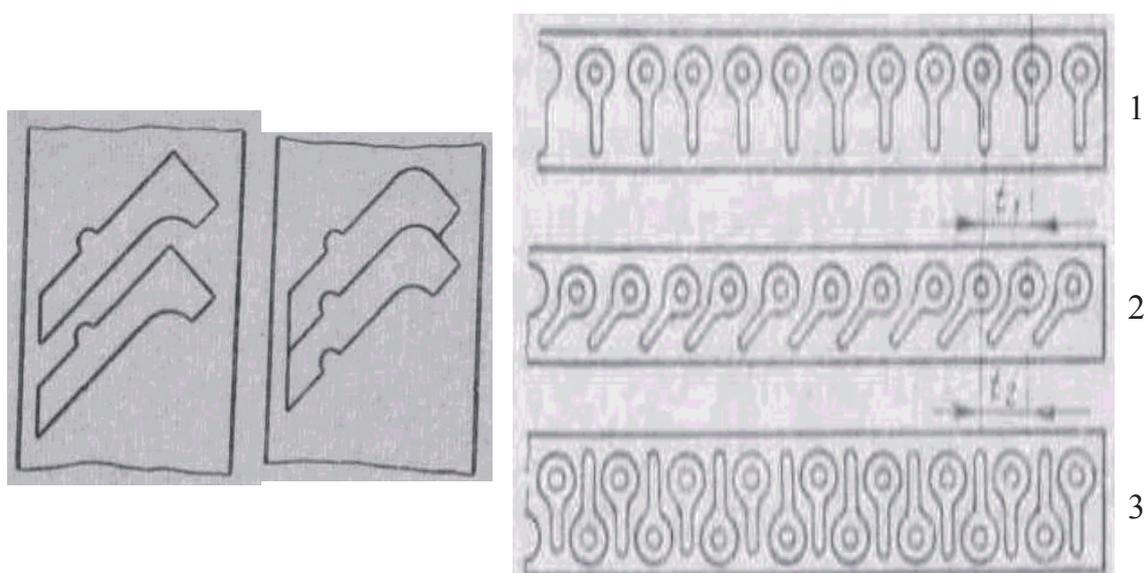


Рис. 9.25. Схемы раскроя листовой полосы: *a* – нерациональный раскрой, *б* – рациональный раскрой; 1, 2, 3 – варианты раскроя

Получение отходов в наиболее ценном виде – один из резервов сокращения расходов на материал. Отходы материала, получаемые в результате изготовления деталей, – стружка, обрезки, сколы, облой, остатки литниковых систем, металлолом и прочее – в зависимости от возможности их дальнейшего применения могут иметь различную стоимость. Поэтому для ее повышения на предприятиях создают специальные службы, которые занимаются сортировкой металлических отходов с целью дальнейшего их эффективного использования. Стружку, полу-

чаемую при обработке на станках различных заготовок, сортируют по маркам материала, не допуская смешивания цветных и черных материалов. Затем путем прессования в специальных прессформах получают брикеты, которые являются дорогим вторичным сырьем в металлургическом производстве. Металлолом также сортируют и отправляют на металлургические и литейные заводы.

Значительно большую стоимость имеют отходы, которые могут быть использованы в качестве заготовок для изготовления других деталей. В этом случае стоимость отходов практически равна или незначительно отличается от стоимости исходного материала. Примером таких отходов являются заготовки типа дисков, колец и шайб, получаемые при листовой штамповке.

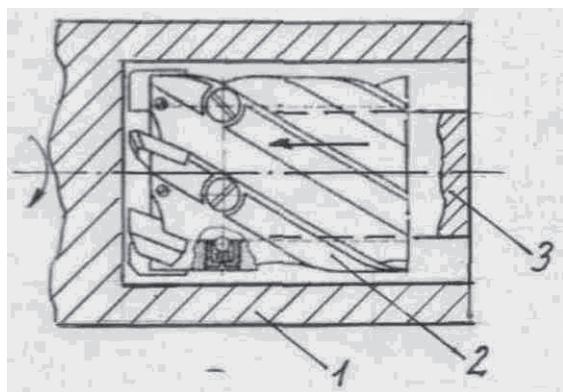


Рис. 9.26. Сверление отверстий большого диаметра с использованием кольцевой резцовой головки: 1 – заготовка; 2 – кольцевая резцовая головка; 3 – высверливаемый стержень

Характерным примером сокращения расходов на материал и получения отходов, которые напрямую используют для изготовления других деталей является процесс глубокого сверления отверстий большого диаметра с использованием кольцевых резцовых головок (рис. 9.26). Если выполнять глубокое сверление отверстий большого диаметра двухлезвийными пушечными сверлами, то весь объем высверливаемого металла превращается в стружку. Применение кольцевых резцовых головок

позволяет значительно уменьшить объем стружки и получить в качестве отхода высверливаемый цилиндрический стержень, который является полноценной заготовкой для изготовления других деталей.

9.6. Расходы по заработной плате и пути их уменьшения

Расходы по заработной плате, приходящиеся на одно изделие, определяются согласно формуле

$$З = \sum_{i=1}^m \left(\frac{Sz_1}{f_1} + \frac{Sz_2}{f_2} \right) \cdot \frac{t}{60} \text{ (руб.)}, \quad (9.39)$$

где S – часовая ставка рабочего первого разряда;

z_1, z_2 – разрядный коэффициент рабочего и наладчика;

f_1, f_2 – количество станков, обслуживаемых соответственно рабочим и наладчиком;

t – штучно-калькуляционное время на выполнение операции;

m – количество операций, выполняемых при изготовлении изделия.

Согласно приведенной формуле уменьшение расходов на зарплату, приходящуюся на единицу продукции, может быть достигнуто путем уменьшения числа операций ($m \Rightarrow <$) и сокращения затрат времени на выполнение каждой из операций ($t \Rightarrow <$). Первое достигают путем разработки совершенных технологических процессов с использованием более точных заготовок. Второе достигают путем применения более производительного технологического оборудования, а также путем реализации технологических решений, рассмотренных в параграфе 9.3.

Применение станков автоматов и полуавтоматов, работающих в автоматическом цикле, позволяет использовать на технологических операциях рабочих невысокой квалификации ($z_1 \Rightarrow <$), на которых возлагают простые функции замены заготовок и общего наблюдения за работой оборудования.

Эффективным средством уменьшения расходов на зарплату является введение многостаночного обслуживания. В большинстве случаев оборудование расставляют по ходу технологического процесса изготовления детали; поэтому на участке помимо различных металлорежущих станков могут стоять также моечные и измерительные устройства, балансировочные или нагревательные установки. Это означает, что при многостаночном обслуживании рабочему приходится работать как на одинаковых, так и на разных станках или установках.

В соответствии с этим организация многостаночного обслуживания предусматривает обучение рабочих смежным профессиям и удобную расстановку оборудования, при которой станочник затрачивает минимальное время на перемещения от одного станка к другому. При многостаночном обслуживании рабочий обычно обслуживает станки автоматы и полуавтоматы, а в отдельных случаях универсальный станок в сочетании с полуавтоматом или автоматом. В то время когда один станок работает в автоматическом цикле и осуществляет обработку заготовки без участия человека, рабочий имеет возможность выполнить переустановку заготовки на другом станке. При этом имеет место совмещение во времени основных и вспомогательных переходов.

Количество одинаковых станков k , которые может обслужить один рабочий при минимальных простоях оборудования, определяется по формуле как ближайшее целое большее число:

$$k = \frac{t_{\text{от}}}{t_p + t_x}, \quad (9.40)$$

где $t_{\text{от}}$ – основное технологическое время;

t_p, t_x – соответственно время работы рабочего на станке и время на переход от одного станка к другому.

Так, например, при $t_{\text{от}} = 6$ мин и $t_p = 1,6$ мин, $t_x = 0,5$ мин рабочий может обслуживать $k = 6/(1,6 + 0,5) = 2,85$, то есть 3 станка.

Анализ неравенства, определяющего в общем случае принимаемое количество станков, обслуживаемых одним рабочим,

$$k^* \leq \frac{t_{\text{от}}}{t_p + t_x} \leq k^{**} \quad (9.41)$$

показывает, что при числе обслуживаемых станков k^* имеет место полная загрузка оборудования и частичное простаивание рабочего. В свою очередь, при количестве обслуживаемых станков k^{**} имеет место полная загрузка рабочего и частичные простои оборудования.

Так, например, согласно (9.40) при $t_{\text{от}} = 6$ мин, $t_p = 1,6$ мин, $t_x = 0,5$ мин рабочий может обслуживать $k = 6/(1,6 + 0,5) = 2,85$, то есть 3 станка. При этом станки будут минимально простаивать, а рабочий будет полностью загружен. Если поручить рабочему обслуживать 2 станка, то согласно (9.41), когда $2 \leq 2,85$ станки будут загружены полностью, рабочий будет частично простаивать.

На рис. 9.27 показаны два варианта расстановки оборудования, обслуживаемого одним рабочим. При расстановке станков по схеме (рис. 9.27, а) рабочий при переходе от одного станка к другому проходит значительно большее расстояние, чем по схеме (рис. 9.27, б).

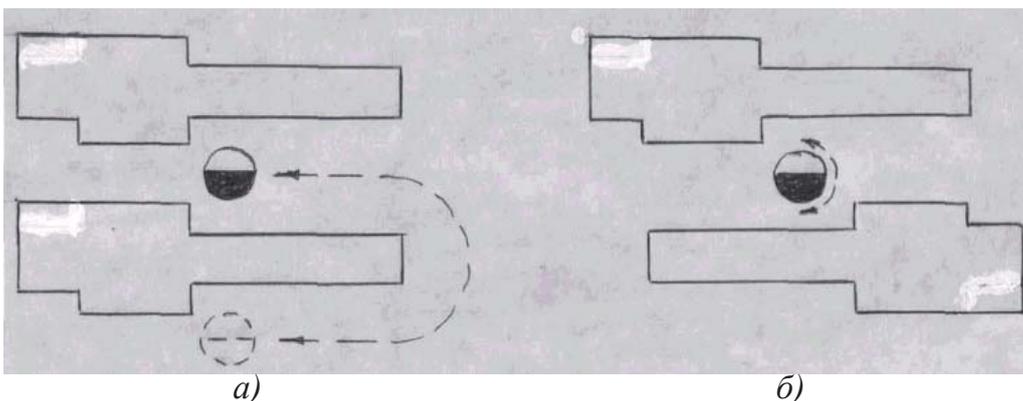


Рис. 9.27. Две схемы расстановки оборудования, обслуживаемого одним рабочим: а – нерациональная; б – рациональная

При введении многостаночного обслуживания необходимо стремиться к наиболее эффективному использованию времени рабочего

при минимально-возможных простоях оборудования. Однако в случае эксплуатации дорогостоящего уникального оборудования или лимитирующего оборудования, которое ограничивает пропускную способность производства, предусматривают полную загрузку оборудования.

Расходы по заработной плате вспомогательных и подсобных рабочих, закрепленных за определенными операциями и оборудованием, определяют так же, как и расходы по заработной плате производственных рабочих. Сокращения расходов по этой статье достигают путем введения средств механизации и автоматизации вспомогательных работ, что позволяет уменьшить численность вспомогательных рабочих. Организация на предприятии обучения новым профессиям позволяет перевести высвободившихся вспомогательных рабочих в разряд основных рабочих и расширить объем выпуска продукции.

Расходы по зарплате инженерно-технического состава, различных категорий служащих и других работников, не участвующих непосредственно в производственном процессе, определяются соответствующим процентом накладных расходов (см. параграф 9.4). Внедрение компьютерных технологий, направленных на повышение эффективности работы инженерно-технического состава и систем комплексного интегрированного управления производством, позволяет существенно упростить решение многофакторных задач управления производством и сократить эти статьи расходов.

9.7. Расходы на содержание и амортизацию средств труда

Эффективное выполнение технологических процессов обеспечивается при непрерывном поддержании средства труда в требуемом рабочем состоянии. Для этого технологическое оборудование помещают в отапливаемые, светлые производственные помещения, в которых должен быть оборудован подвод необходимой по мощности электроэнергии, подвод сжатого воздуха, топлива, смазки, охлаждения и др. Оборудование должно находиться под постоянным техническим наблюдением, оно требует проведения своевременного технического обслуживания и ремонта. Все это предполагает определенные затраты, которые называют расходами на содержание средств труда. В зависимости от целевого назначения эти расходы подразделяются на расходы по содержанию оборудования, приспособлений и инструмента.

В процессе эксплуатации средства труда постепенно изнашивают-

ся. Следует различать два вида износа – физический и моральный. При физическом износе средства труда не могут выполнять свое служебное назначение в результате систематических поломок. В случае морального износа использование средств труда, находящихся даже в удовлетворительном состоянии, представляется экономически нецелесообразным вследствие появления новых, современных, более производительных и экономичных орудий производства.

Расходы на содержание и амортизацию оборудования определяются согласно выражению

$$O = O_1 + O_2 + O_3 + O_4, \quad (9.42)$$

где O_1 – расходы на электроэнергию, потребляемую оборудованием; O_2 – расходы на ремонт; O_3 – расходы на амортизацию оборудования; O_4 – расходы на амортизацию части здания, в котором размещено оборудование.

Расходы на электроэнергию рассчитывают по формуле

$$O_1 = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{M \cdot k_m \cdot q}{\eta_m \cdot \eta_c \cdot 60} \cdot t, \quad (9.43)$$

где M – мощность электродвигателей (кВт); k_m – коэффициент машинного времени работы электродвигателей (отношение машинного времени к общему времени обработки); q – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии; η_r – КПД электродвигателя; η_c – КПД сети (0,96 %); t – время, затрачиваемое на операцию (мин); m – число выполняемых операций.

Амортизационные отчисления представляют собой средства, которые накапливают за определенный период времени с целью замены износившегося оборудования, приспособлений и инструмента новыми. Они входят в качестве одного из слагаемых в себестоимость единицы продукции.

В соответствии со служебным назначением оборудование, приспособления и инструмент принято делить на универсальные и специальные. Универсальное оборудование, приспособления и инструмент можно использовать для изготовления и обработки различных изделий и деталей. Специальное оборудование, приспособления и инструмент применяют для изготовления или обработки одного или нескольких определенных изделий (деталей), для которых они предназначены. В случае прекращения выпуска такого изделия (или детали) специальные оборудование, приспособления и инструмент в большинстве случаев не могут быть использованы. Переделка такого оборудования с це-

люю использования его для изготовления другого изделия обычно требует значительных дополнительных затрат.

В соответствии с изложенным расчет амортизационных отчислений для универсальных и специальных средств труда производят различно.

Для универсальных средств труда вначале подсчитывают сумму амортизационных отчислений, приходящихся на 1 мин работы оборудования, приспособления и инструмента. А затем, взяв из операционной технологической карты время, затрачиваемое на обработку заготовки, умножают его на величину амортизационных отчислений, приходящихся на 1 мин работы оборудования, и получают суммы амортизационных отчислений, входящих в себестоимость соответствующей операции. Суммирование амортизационных отчислений по всем операциям позволяет определить общую сумму амортизации, приходящуюся на единицу продукции.

Расходы на амортизацию универсального оборудования:

$$O_2 = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{S \cdot a_1 \cdot n}{F \cdot k_1 \cdot 100 \cdot 60} \cdot t, \quad (9.44)$$

где S – стоимость единицы оборудования (руб); a_1 – процент амортизационных отчислений; n – количество единиц данного оборудования, необходимое для выполнения рассматриваемой операции; F – годовой фонд времени работы оборудования (ч); k_1 – коэффициент использования оборудования (отношение времени работы оборудования к общему времени обработки); t – время, затрачиваемое на операцию (мин); m – число выполняемых операций.

Для специальных средств труда амортизационные отчисления, приходящиеся на единицы продукции, подсчитывают путем деления первоначальных расходов S на приобретение данного оборудования, приспособления или инструмента на общее количество изделий l , подлежащих изготовлению на этом оборудовании по неизменным чертежам:

$$O_2^* = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{S \cdot n}{l}, \quad (9.45)$$

где n – количество единиц рассматриваемого оборудования, необходимое для выполнения данной операции.

Расходы на ремонт оборудования:

$$O_3 = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{a_2 \cdot O_2}{100}, \quad (9.46)$$

где a_2 – средняя норма расходов на ремонт в процентах от расходов на амортизацию оборудования.

Расходы на амортизацию части здания, в котором размещено данное оборудование

$$O_4 = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{Q \cdot H \cdot b \cdot a_3 \cdot n}{F \cdot 100 \cdot 60} \cdot t, \quad (9.47)$$

где Q – площадь здания, занимаемая оборудованием (м^2); H – высота здания (м); b – стоимость 1 м^3 здания (руб); a_3 – процент амортизации здания.

Расходы на содержание и амортизацию приспособлений или другой технологической оснастки, приходящиеся на единицу продукции, рассчитывают:

– для универсальных приспособлений:

$$\Pi = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{D \cdot (a_4 + a_5) \cdot n}{F \cdot k_1 \cdot 100 \cdot 60} \cdot t; \quad (9.48)$$

– для специальных:

$$\Pi^* = \sum_{i=1}^{i=m} \left(1 + \frac{a_6}{100}\right) \frac{D \cdot n}{l}, \quad (9.49)$$

где D – стоимость одного приспособления (руб); a_4 – процент амортизационных отчислений; a_5 и a_6 – расходы на содержание (эксплуатацию) приспособления, выраженные в процентах от его стоимости.

Расходы на содержание и амортизацию инструмента И, приходящиеся на единицу продукции, рассчитывают по следующим формулам:

– для универсального инструмента:

$$\Pi = \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{i=1}^{i=S} \frac{(J + i \cdot t_n \cdot r_n) \cdot k_c}{l}, \quad (9.50)$$

– для специального инструмента:

$$\Pi^* = \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{i=1}^{i=S} \frac{(J + i \cdot t_n \cdot r_n) \cdot \alpha \cdot k_u}{(1 + i) \cdot R \cdot 60} \cdot t, \quad (9.51)$$

где J – стоимость инструмента в руб; i – количество переточек, допускаемых инструментом; t_n – время, затрачиваемое на одну переточку, в ч; r_n – стоимость одного часа переточки инструмента (руб); k_n – коэффициент использования инструмента по времени (отношение времени работы данного инструмента к общему времени обработки t); α – количество одинаковых, одновременно работающих инструментов; R – стойкость инструмента (продолжительность его работы между двумя переточками в час); k_c – количество одинаковых инструментов, необходимых для выпуска l изделий, изготавливаемых по неизменяемому чертежу; S – количество различных типов инструментов, одновременно применяемых на каждой из операций.

Таким образом, используя приведенные выше формулы, представляется возможным определить численные значения составляющих вы-

ражения (9.33) и рассчитать себестоимость единицы продукции дифференциальным методом.

В тех случаях, когда имеют место изменения в конструкции отдельных сборочных единиц или деталей и связанные с этим изменения расходов на материал и на отдельные технологические операции, необходимости калькуляции себестоимости всего изделия нет. Для сравнения возможных вариантов производственных затрат достаточно сопоставить себестоимость вариантов изготовления рассматриваемой сборочной единицы или вариантов изготовления отдельной детали с учетом изменения расходов на материал.

Согласно формулам (9.43) – (9.51), уменьшение расходов на амортизацию осуществляют путем выбора наиболее дешевых видов оборудования, технологической оснастки и инструмента. Этой же цели служит повышение производительности труда, достигаемое путем сокращения времени выполнения технологических операций.

Уменьшение расходов на содержание оборудования достигают также путем повышения КПД оборудования и технологической оснастки. Путем подбора к оборудованию электродвигателей требуемой мощности достигают сокращения расходов на электроэнергию. Повышение качества ухода за оборудованием технологической оснасткой путем и периодической смазки, очистки, регулировки и своевременного выполнения технического обслуживания и ремонта позволяет уменьшить простои и расходы на его содержание.

Для сокращения расходов на строительство производственных зданий и цехов необходимо выполнять рациональную планировку оборудования и эффективно использовать производственные площади.

Уменьшения расходов на содержание режущего инструмента достигают путем своевременной принудительной смены режущего инструмента, путем организации централизованной качественной переточки и выполнения обработки с требуемыми режимами при использовании надлежащих смазывающе-охлаждающих средств. Важным фактором при этом является своевременное восстановление и использование износившегося инструмента, его бережное хранение на протяжении всего времени использования.

9.8. Уменьшение накладных расходов

Анализ выражения (9.33), определяющего затраты на изготовление единицы изделия, показывает, что снижение себестоимости зависит не

только от рассмотренных выше факторов, но также и от сокращения накладных расходов (коэффициент a_3), которое можно осуществить за счет уменьшения всех составляющих накладных расходов.

К накладным расходам относятся расходы на заработную плату администрации, инженерно-технических работников, обслуживающего персонала, счетно-конторского персонала, вспомогательных рабочих, которые не закреплены за определенными рабочими местами, а также расходы на содержание транспорта, расходы по охране труда и технике безопасности, канцелярские расходы, расходы по хозяйственному инвентарю и др.

Существенно сократить накладные расходы можно за счет уменьшения значений всех перечисленных выше слагаемых. В первую очередь этого достигают путем упрощения управленческого аппарата, уменьшения численности непроизводственных рабочих, сокращения на производстве брака и других потерь. Важным фактором при этом является сокращение цикла производства, что позволяет ускорить возврат вложенных средств, то есть повысить их оборачиваемость.

9.9. Сравнение и выбор оптимального по себестоимости варианта технологического процесса

Для сравнения нескольких возможных вариантов технологического процесса изготовления детали с целью выбора наиболее экономичного из них может быть использован графо-аналитический метод. Согласно этому методу все расходы, связанные с осуществлением технологического процесса изготовления детали, делят на две группы:

- затраты, не зависящие от числа изготавливаемых изделий;
- затраты, зависящие от количества изготавливаемых изделий.

Расходы, образующие первую группу, включают первоначальные затраты на приобретение необходимого оборудования, приспособления и комплекта инструментов. Расходы, образующие вторую группу, включают затраты на заработную плату рабочих и наладчиков, расходы на материал, на содержание, эксплуатацию и амортизацию оборудования, приспособлений и инструментов.

Если первую группу расходов обозначить через b , а вторую через m , то себестоимость изготовления заданного количества изделий можно определить согласно выражению

$$C = b + m \cdot x, \quad (9.52)$$

где x – число изготавливаемых изделий (заданный объем выпуска).

Рассмотрим применение формулы (9.52) на примере трех различных вариантов технологического процесса изготовления одинаковых деталей при различных объемах их выпуска.

При первом варианте технологического процесса изготовление деталей осуществляется на универсальных станках и себестоимость изготовления заданного объема деталей определяется выражением

$$C_1 = b_1 + m_1 \cdot x.$$

Согласно второму варианту изготовления деталей выполняют на станках-полуавтоматах и их себестоимость определяется выражением

$$C_2 = b_2 + m_2 \cdot x.$$

При третьем варианте изготовления деталей выполняют на станках-автоматах, при использовании которых себестоимость заданного объема деталей определяется выражением

$$C_3 = b_3 + m_3 \cdot x.$$

Если в прямоугольной декартовой системе по оси координат отложить себестоимость C изготовления задаваемого объема изделий, а по оси абсцисс объем их выпуска x , то полученные выше выражения будут представлены как семейство ломанных линий (рис. 9.28). Отрезки

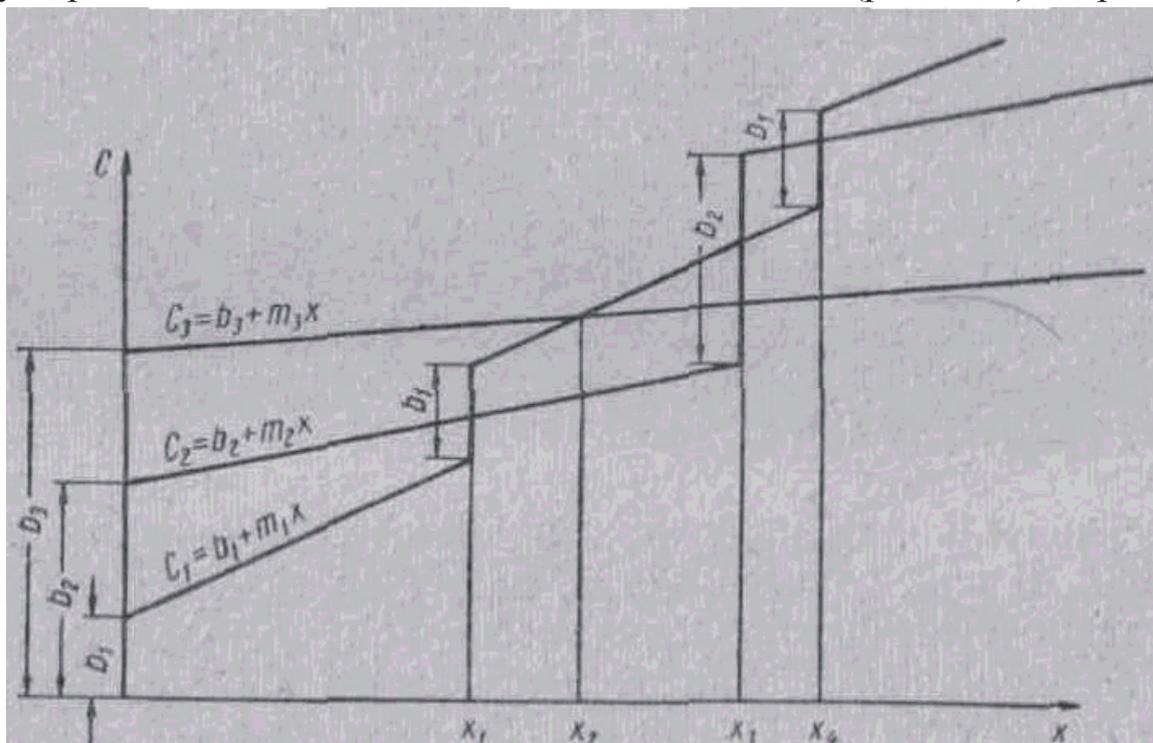


Рис. 9.28. Графики зависимости себестоимости изготовления детали от объема выпуска при трех различных вариантах технологического процесса

$b_1 < b_2 < b_3$ определяют значения первоначальных затрат на приобретение средств труда. В данном примере затраты на приобретение станка-

автомата превышают стоимость станка-полуавтомата, которая, в свою очередь, превышает стоимость универсального станка.

Из приведенных графиков видно, что с увеличением программы выпуска себестоимость объема изготавливаемых изделий растет, так как растут расходы на материал, потребляемую электроэнергию, заработную плату рабочих и др. При этом интенсивность роста себестоимости, определяемая коэффициентами m_1, m_2, m_3 , не одинакова, так как определяется разными по значению факторами, связанными с расходами на содержание и амортизацию оборудования, инструмента, приспособления и пр. Когда объем изготавливаемых изделий не превышает значения x_1 , наименьшую себестоимость обеспечивает первый вариант технологического процесса: при $x \leq x_1$ $C_1 < C_2 < C_3$.

В случае, когда объем выпуска изделий находится в пределах $x_1 \leq x \leq x_3$, наименьшую себестоимость получают при использовании второго варианта технологического процесса $C_2 < C_1 < C_3$. В свою очередь, при объеме выпуска в пределах $x \geq x_3$ наименьшую себестоимость получают при использовании третьего варианта технологического процесса $C_3 < C_1 < C_2$.

Из приведенного графика видно, что если объем изготавливаемых изделий достигает значения x_1 , то для изготовления данного количества деталей по первому варианту технологического процесса потребуются приобретение дополнительного оборудования. Это означает удвоение первоначальных затрат $2 \cdot b_1$, что на графике наглядно показывает наличие излома и образование новой линии $C_1 = 2 \cdot b_1 + m_1 \cdot x$. В свою очередь, когда объем выпуска превышает x_4 , по первому варианту потребуются приобретение третьего станка. В результате первоначальные затраты необходимо утроить $3 \cdot b_1$, а себестоимость изготовления изделий будет определять новая линия $C_1 = 3 \cdot b_1 + m_1 \cdot x$.

Аналогично, когда объем изготавливаемых изделий достигает значения x_3 , изготовление данного количества деталей по второму варианту технологического процесса потребует приобретения дополнительного оборудования. Наличие на графике излома (см. рис. 9.28) означает удвоение первоначальных затрат $2 \cdot b_2$ и образование для второго варианта технологического процесса новой линии $C_2 = 2 \cdot b_2 + m_2 \cdot x$.

Таким образом, изложенный метод позволяет достаточно быстро выявить и наглядно представить наиболее экономичный вариант технологического процесса изготовления изделия при различных объемах его выпуска. Применение этого метода представляется целесообразным

при необходимости обоснования альтернативных технологий с применением различных видов оборудования, приспособлений, инструмента для выпуска изделий в требуемых объемах в данных производственных условиях.

Вопросы для самопроверки

1. Что следует понимать под штучно-калькуляционным временем?
2. Назовите составляющие подготовительно-заключительного времени.
3. Назовите составляющие штучного времени, затрачиваемого на изготовление одной детали.
4. В каких случаях основное технологическое время называют машинным, машинно-ручным и ручным?
5. Что представляет собой оперативное время?
6. По какой формуле рассчитывают машинное время при точении заготовки на проход?
7. Назовите основные пути уменьшения машинного времени.
8. Что означает понятие «техническое нормирование»?
9. Какие способы технического нормирования вы знаете?
10. В чем заключается сущность аналитически-расчетного метода нормирования?
11. В чем заключается сущность нормирования по укрупненным нормативам?
12. Назовите основные пути сокращения подготовительно-заключительного времени, приходящегося на одну деталь.
13. Какую цель преследуют при совмещении во времени основных технологических переходов?
14. Приведите примеры совмещения во времени основных технологических и вспомогательных переходов.
15. В чем заключается сущность совместной обработки заготовок?
16. Назовите два метода расчета себестоимости единицы изделия.
17. Объясните сущность расчета себестоимости бухгалтерским методом.
18. Объясните сущность расчета себестоимости дифференциальным методом?
19. Назовите основные технико-экономические показатели машиностроительного производства.

20. По какой формуле подсчитывают расходы на материал?
21. Назовите основные пути сокращения расходов на материал.
22. Что представляет собой коэффициент использования материала?
23. По какой формуле подсчитывают расходы по заработной плате?
24. Назовите возможные пути сокращения расходов по заработной плате.
25. С какой целью на предприятиях вводят многостаночное обслуживание?
26. Что следует понимать под амортизационными отчислениями?
27. Какие составляющие определяют расходы на содержание и амортизацию оборудования?
28. Назовите возможные пути сокращения накладных расходов.
29. В чем заключается сущность графо-аналитического метода, применяемого для сравнения вариантов технологического процесса изготовления детали?

Глава 10. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПОДГОТОВКИ И ОРГАНИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Организационные формы и виды производственных процессов оказывают существенное влияние на повышение производительности труда. При этом основными факторами, предопределяющими выбор организационной формы и вида производственного процесса, являются количество изделий, подлежащих изготовлению в единицу времени и по неизменяемым чертежам, а также их номенклатура.

10.1. Организационные формы и виды производственных процессов

В зависимости от количества выпускаемых изделий, их номенклатуры, регулярности выпуска и величины серии выбирают соответствующую форму организации производства, которая непосредственно определяет характер реализации технологического процесса.

В машиностроении существуют три основных типа производства – *единичное, серийное и массовое*. В соответствии с ГОСТ 14.004 под типом производства понимается классификационная категория производства, выполняемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска продукции. В качестве классификационной категории производства, выделяемой по признаку применяемого метода изготовления изделия, вводится понятие – *вид производства*. Например, видами производства являются литейное, сварочное, механосборочное и др.

Одним из характерных параметров, определяющих тип производства, является коэффициент закрепления операций (ГОСТ 3.1108). Он принимается для планового периода и определяется по формуле

$$K_{30} = \frac{Q}{P}, \quad (10.1)$$

где Q – число операций; P – число рабочих, выполняющих различные операции.

Значения коэффициента закрепления операций для производств различного типа приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Коэффициенты закрепления операций

Тип производства	Коэффициент закрепления операций
Массовое производство	1
Крупносерийное	Свыше 1 до 10 включительно
Среднесерийное	Свыше 10 до 20 включительно
Мелкосерийное	Свыше 20 до 40 включительно
Единичное	Свыше 40

Единичным называется производство, для которого характерен малый объем выпуска одноптипных изделий, повторное изготовление которых в большинстве случаев не предусматривается. В единичном производстве применяют универсальное оборудование, на котором выполняется обработка рабочими высокой квалификации. Технологический процесс при этом разрабатывают и документируют на уровне маршрутных технологий без подробностей. Высокая квалификация рабочих и опыт технического персонала дают возможность ограничиться перечислением последовательно выполняемых операций с указанием поверхностей, подлежащих обработке на каждой операции. При этом в основном применяют стандартный инструмент. Специальные приспособления, режущий и измерительный инструмент применяют сравнительно редко.

Серийным называется производство, для которого характерно изготовление или ремонт изделий периодически повторяющимися партиями. В зависимости от количества изделий в партии и значения коэффициента закрепления операций различают *мелкосерийное*, *среднесерийное* и *крупносерийное* производства.

Для серийного производства технологический процесс должен быть разработан детально. В этом производстве используется универсальное, высокопроизводительное и частично специализированное и специальное оборудование. Большинство технологических операций выполняют с использованием специальной технологической оснастки, которая должна обладать достаточным быстродействием и возможностью переналадки. Для обработки и контроля применяют как универсальный, так и специальный режущий и измерительный инструмент.

В этом производстве широко используют станки с ЧПУ, многоцелевые станки и технологические модули. Для работы на настроенных станках могут привлекаться рабочие средней квалификации. Ограниченная номенклатура деталей и их частая повторяемость позволяют рабочим быстро специализироваться и приобрести навыки, что положительно сказывается на росте производительности труда и стабильности качества выпускаемых изделий. В серийном производстве применяют более точные заготовки в виде отливок, поковок, штамповок, а также сортовой или специальный прокат. Оборудование, как правило, располагается по ходу технологического процесса. Все эти факторы обеспечивают возможность выпуска более дешевой продукции по сравнению с единичным производством при одновременном сокращении производственного цикла.

Массовым называется производство, характеризуемое большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых продолжительное время, в течение которого на рабочих местах обычно выполняется одна рабочая операция. Коэффициент закрепления операций в соответствии с ГОСТ 3.1108 для массового производства равен единице.

Длительное время изготовления одинакового изделия позволяет применять высокопроизводительные методы обработки, специальные станки, станки-автоматы, автоматические линии, а также специальные режущие и измерительные инструменты и специальные средства автоматизации. Оборудование располагается по ходу технологического процесса. Функция рабочих, обслуживающих станки-автоматы и полуавтоматы, сводится к установке и съему заготовок, поэтому подготовка рабочих для массового производства происходит в короткие сроки. Однако помимо рабочих сравнительно невысокой квалификации, выполняющих определенные операции, имеются также наладчики – квалифицированные рабочие, которые занимаются наладкой и регулировкой сложного автоматического оборудования. При наличии специального оборудования, предназначенного для изготовления конкретных изделий, переход на изготовление другого изделия существенно затруднен. Организация массового производства требует значительных первоначальных затрат. Себестоимость изделия оказывается наиболее низкой по сравнению с единичным и серийным производствами. Технологиче-

ский процесс и документацию при массовом производстве разрабатывают очень подробно. Массовое производство представляет собой наиболее совершенную форму организации, однако оно не имеет технологической гибкости, позволяющей перенастроить оборудование на изготовление других изделий.

Различают две основные формы организации производственного процесса: *поточная* и *непоточная*. При поточной форме организации производства соблюдается постоянство такта выпуска, который определяет промежуток времени между двумя последовательно выпускаемыми изделиями. Такт выпуска имеет размерность [мин/шт.] и рассчитывается по формуле

$$T = \frac{F \cdot \eta \cdot 60}{N}, \quad (10.2)$$

где F – годовой фонд времени [час]; η – коэффициент использования годового фонда времени; N – годовой объем (программа) выпуска изделий.

При поточной форме организации производства операции по обработке или сборке изделий закреплены за определенными рабочими местами, расположенными по ходу выполнения процесса. Продолжительность технологических операций синхронизирована во времени, и обрабатываемая заготовка или сборочная единица передается с одного рабочего места на другое с заданным тактом выпуска.

В некоторых случаях на поточной линии попеременно изготавливают несколько близких по служебному назначению и конфигурации деталей. Вначале на линии в течение нескольких дней выполняется обработка одной заготовки, а затем после обработки определенного количества заготовок одного вида линию перестраивают для обработки другой заготовки. Такое производство называют *переменно-поточным*. При поточном производстве сокращаются цикл изготовления продукции и межоперационные заделы, а также снижается трудоемкость изделия в целом.

Непоточным называется производство, при котором заготовки, детали или собираемые изделия в процессе обработки также находятся в движении, то есть передаются с одного рабочего места на другое, однако продолжительность операций не синхронизирована, возможно пролеживание, в результате процесс изготовления изделий ведется с меняющейся величиной такта.

10.2. Организация машиностроительного производства и расстановка технологического оборудования

Для организации машиностроительного производства применяют две следующие схемы расстановки технологического оборудования:

- *по группам станков*, например группа токарных, группа фрезерных, сверлильных и других станков. Эту схему применяют в условиях единичного и многономенклатурного мелкосерийного производства, что позволяет обеспечить более полную загрузку оборудования и повысить коэффициент его использования;

- *по ходу технологического процесса* изготовления определенных деталей, например валов, зубчатых колес и др. В результате происходит образование технологически замкнутых участков по изготовлению определенных изделий. Эту схему применяют в серийном и крупносерийном производствах.

В условиях мелкосерийного и единичного производства при большой номенклатуре выпускаемых деталей расстановку оборудования станков осуществляют по группам станков, для чего создают отдельные участки токарных станков, фрезерных, сверлильных, шлифовальных и других. Каждая группа станков находится в подчинении соответствующего мастера. Такая схема получила название групповой расстановки оборудования.

Изготавливаемые детали в соответствии с разработанным технологическим процессом проходят в определенной последовательности отдельные участки, на которых выполняют предусмотренные операции. Изделия небольших размеров и веса после выполнения соответствующей операции обычно поступают в центральный или промежуточный склад для хранения и учета перед последующей операцией. На отдельных участках организуют рабочие места для технического контроля деталей, прошедших соответствующую операцию – токарную, фрезерную, шлифовальную. Изделия большого веса и габаритных размеров хранятся непосредственно возле станков или на специально отведенных подкрановых площадках. После прохождения последней операции и контроля изделия поступают на склад готовых деталей, а затем после комплектации выдаются на сборку.

Таким образом, при рассматриваемой форме организации производственного процесса изготавливаемые изделия совершают длинный путь перемещений от одного участка станков на склад, а затем к другому участку, что требует интенсивного применения транспортных средств. При этом значительно усложняются вопросы организации многономенклатурного производства, вопросы учета, планирования и оформления необходимой документации. Мастер определенного участка отвечает за качество и сроки выполнения только своей операции и не несет ответственность за изделие в целом. Все это в конечном итоге приводит к относительно низким технико-экономическим показателям производства, к которым относятся выпуск продукции на одного рабочего, на один станок, на единицу площади цеха и др.

С увеличением количества изделий, подлежащих изготовлению в единицу времени, возникает необходимость перехода к более совершенной форме организации производственного процесса, получившей название *организации технологически замкнутых участков*. При этой форме организации все подлежащие изготовлению изделия группируются по общности их служебного назначения, по подобию конструктивных форм и близости размеров, а следовательно, и по сходству технологических процессов. Для изготовления каждой из таких групп деталей, например валов, зубчатых колес, корпусов, создают отдельные технологические участки, в которых оборудование расставляют *по ходу выполнения технологического процесса*. Так, например, на участке для изготовления валов оборудование устанавливают в соответствии с необходимостью последовательного выполнения следующих технологических операций:

- 1) отрезка заготовки от прутка (отрезной станок);
- 2) подрезка торцов и зацентровка вала с целью создания технологической базы для последующей обработки (токарно-револьверный, фрезерно-центровальный станки);
- 3) черновая и чистовая токарная обработки по контуру вала (токарно-винторезные, гидрокопировальные или многорезцовые токарные станки);
- 4) фрезерование шпона пазов (вертикально-фрезерный, шпоночно-фрезерный станки);
- 5) фрезерование шлицевых пазов (горизонтально-фрезерный, шлице-фрезерный станки);

б) шлифование цилиндрических поверхностей вала (круглошлифовальный станок);

7) отделка шлицев шлифованием (шлицешлифовальный станок).

Оборудование в технологически замкнутых участках нередко связывают при помощи подъемно-транспортных устройств в виде подвесных балок с электротельферами, рольгангов, склизов, специальной тары для перевозки деталей небольших размеров. Это способствует повышению производительности труда рабочих, сокращению цикла производства и повышению других технико-экономических показателей.

Во главе каждого из таких организационно оформленных участков стоит мастер, который в целом отвечает за сроки и качество изготовления определенной номенклатуры деталей. Относительно малая номенклатура деталей, закрепленных за каждым из технологически участков, позволяет существенно упростить задачи организации и планирования производства.

В процессе изготовления изделие находится в пределах одного участка и проходит короткий путь, что сокращает расходы и потребность применения транспортных средств. Уменьшается также время на перенастройку оборудования при переходе от обработки одного изделия к другому, близкому по конфигурации и технологическому процессу. Результатом этого являются более высокие технико-экономические показатели по сравнению с показателями, получаемыми при групповой расстановке оборудования.

Определенным недостатком организации технологически замкнутых участков является недогрузка станков, следствием чего является более низкий коэффициент использования оборудования по сравнению с организацией участков с расположением оборудования по группам станков. Так, например, если на участке валов происходит изготовление гладких валов без шлицевых пазов, то шлицефрезерный и шлицешлифовальный станки простаивают.

Однако, несмотря на это, благодаря другим значительно более высоким технико-экономическим показателям, данная форма организации производства и расстановки оборудования находит широкое применение не только на заводах, производящих ограниченную номенклатуру изделий, но также и на предприятиях, изготавливающих большую номенклатуру изделий при относительно небольших количествах.

Рассмотренные выше формы организации производственного про-

цесса относятся к непоточному виду, когда отсутствует непрерывность движения изготавливаемых изделий и их равномерный выпуск с соблюдением постоянного такта.

С увеличением количества изготавливаемых изделий и уменьшением их номенклатуры осуществляют переход на следующую, еще более качественную ступень – поточную форму организации производственного процесса. С этой целью на основе технологически замкнутых участков создают *поточные линии* по изготовлению определенных изделий.

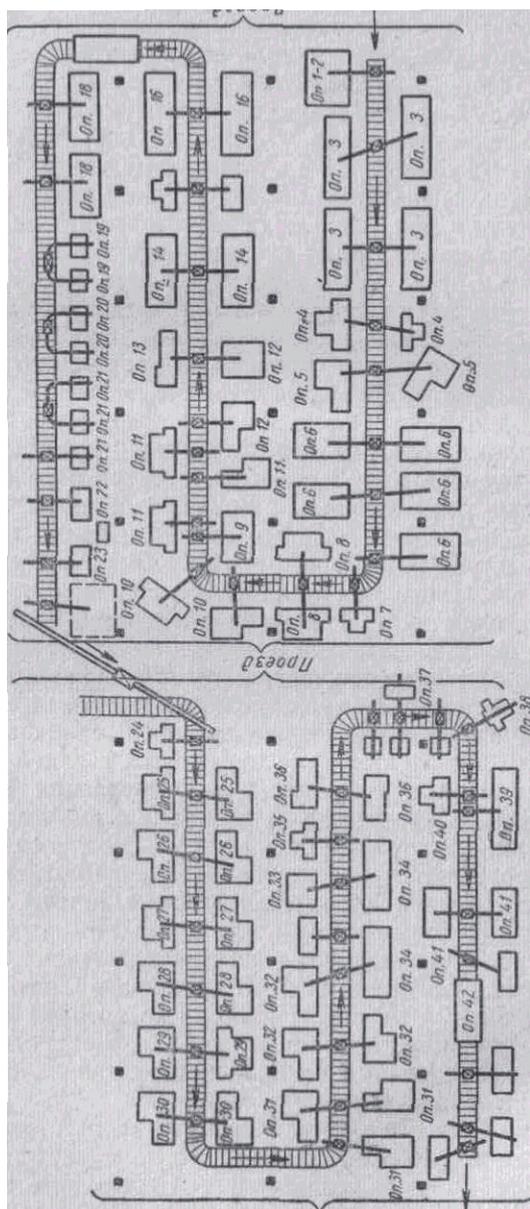


Рис. 10.1. Расстановка оборудования поточной линии для изготовления коленчатого вала

В поточных линиях оборудование также расставляют в последовательности выполняемых технологических операций, что позволяет до минимума сократить длину пути, проходимого обрабатываемой деталью, и обеспечить возможность осуществления многостаночного обслуживания. Оборудование поточной линии связывают при помощи транспортных устройств, обеспечивающих передачу обрабатываемой заготовки с одной операции на другую. Технологический процесс разрабатывается таким образом, чтобы продолжительность каждой из операций поточной линии была по возможности равна или кратна такту выпуска. Это позволяет наилучшим образом использовать производственную площадь, наиболее полно использовать оборудование поточной линии и создает предпосылки для последующей полной автоматизации технологического процесса.

В качестве примера на рис. 10.1 показана планировка расстановки оборудования поточной линии для изготовления коленчатого вала. Переме-

щение заготовок от одного станка к другому осуществляется по рольгангу. Передача заготовок с рольганга на станки и обратно на рольганг, а также их установка в приспособления осуществляются при помощи подвесных электротельферов. Полная обработка коленчатого вала предусматривает выполнение 42 операций, обозначение которых приведено непосредственно на применяемом оборудовании (см. рис. 10.1).

На поточной линии каждая деталь, прошедшая какую-либо операцию, сразу передается рабочим на транспортер для доставки на следующий станок, минуя склад. Время на передачу детали в таких случаях включается в норму времени. В отдельных случаях, с целью компенсации колебаний времени, затрачиваемого рабочими на выполнение отдельных операций, на рабочих позициях или на транспортных устройствах предусматривают небольшие межоперационные заделы. Наличие промежуточных заделов позволяет также уменьшить возможные простои оборудования, которые могут возникнуть из-за случайной остановки одного из станков. Промежуточные заделы обычно размещают после нескольких единиц оборудования, деля, таким образом, всю поточную линию на ряд отдельных участков, каждый из которых может работать определенное время автономно, независимо от других. Контрольные операции, также как и обычные технологические операции, включают в поточную линию по ходу процесса как отдельные позиции.

На поточных линиях, как правило, широко применяют многостаночное обслуживание. Рабочие обычно обслуживают несколько единиц одинакового или различного оборудования, совмещая, таким образом, различные профессии. Так, например, как показано на рис. 10.1, один рабочий обслуживает несколько одинаковых станков на операции № 6 (Оп. 6) и два разных станка на операциях № 11 (Оп.11), № 12 (Оп. 12).

В цехах поточного производства обычно размещают не одну, а несколько поточных линий, детали которых, как показано на рис. 10.1, непосредственно поступают на конвейер, где осуществляется сборка изделия. При этом отсутствует пересечение грузопотоков. Изготовление деталей на поточных линиях значительно упрощает организацию и планирование производства, упрощает распределение и учет работ и сокращает оформление документации. Ответственность за работу одной или нескольких поточных линий поручают мастеру, который следит также за качеством и ритмичностью выпуска готовых деталей или сборочных единиц.

Объединение нескольких поточных линий позволяет создавать комплексные предметно-замкнутые участки, в которых осуществляется как изготовление комплектующих деталей, так и сборка готовых изделий.

В качестве примеров комплексных участков могут быть участки по изготовлению на станкостроительных заводах узлов гидроаппаратуры – гидропанелей, гидрозолотников, – а также участки по изготовлению сборного режущего инструмента.

В крупносерийном и массовом производстве для изготовления в больших объемах одного изделия создают автоматические линии, в которых станки, располагаемые по ходу технологического процесса, связывают жесткой транспортной системой, обеспечивающей автоматическую передачу заготовок от одного станка к другому. Работа станков и транспортной системы в автоматических линиях синхронизирована в соответствии с заданным тактом выпуска изделий.

10.3. Расчет количества необходимого станочного оборудования и коэффициентов его загрузки

Номинальный фонд времени Φ_n для единицы оборудования рассчитывается по формуле

$$\Phi_n = (D_p t_{\text{сут}} - D_{pc'} t_c) \left(\frac{1 - K_{\text{пр}}}{100} \right), \quad (10.3)$$

где D_p – число рабочих дней в планируемый период; $t_{\text{сут}}$ – число рабочих часов в сутки; $D_{pc'}$ – число рабочих дней сокращенной продолжительности; t_c – число рабочих часов, на которые сокращены рабочие сутки; $K_{\text{пр}}$ – процент планируемого времени простоя оборудования, что необходимо для профилактики и ремонта.

Для универсального оборудования принимают $K_{\text{пр}} = (3 \div 8) \%$, для специального оборудования $K_{\text{пр}} = (10 \div 12) \%$.

Действительный фонд работы оборудования F_c отличается от номинального фонда на величину потерь фонда времени:

$$F_c = \Phi_n - F_n. \quad (10.4)$$

Такие потери могут быть технологическими и организационными. Принимаемый действительный годовой фонд работы оборудования F_c при 1-ой смене $F_c = 2030$ ч, потери (2 %). При двухсменной работе $F_c = 4015$ ч, потери (3 %). При трехсменной работе – $F_c = 5960$ ч, потери (4 %).

В зависимости от потребности работа производства может быть

организована в одну, две или три смены. При этом сборочные цеха могут работать в одну смену, а механообрабатывающие подразделения – в две смены. В 2-3 смены обычно организуют работу уникального дорогостоящего оборудования или оборудования, которое по производительности лимитирует производственный процесс предприятия.

Расчет количества станков, необходимых для выполнения определенной операции, при годовом объеме выпуска деталей N осуществляется по формуле

$$C_p = \frac{t_{шт.к}}{F_c} \cdot N, \quad (10.5)$$

где $T_{шт.к}$ – штучно-калькуляционное время на данную операцию; F_c – действительный годовой фонд работы оборудования.

Расчетное число станков C_p округляется до ближайшего целого числа и получают C_n – принятое число станков $C_p \Rightarrow C_n$.

Зная значения расчетного и принятого числа станков определяют коэффициент загрузки станка (оборудования):

$$K_{з.об} = \frac{C_p}{C_n}. \quad (10.6)$$

Коэффициент загрузки оборудования $K_{з.об}$ в среднем не должен быть ниже 0,85, то есть желательно обеспечить $K_{з.об} > 0,85$.

При $K_{з.об} < 0,85$ имеет место недогрузка оборудования, его простои. В этом случае необходимо искать технико-организационные мероприятия увеличения коэффициента загрузки оборудования. Такими мероприятиями являются:

- 1) поиск взаимодополняемого и взаимозаменяемого оборудования;
- 2) корректировки программы выпуска изделий.

Так как в процессе изготовления детали заготовка обычно проходит несколько различных станков, расположенных на участке, то следует рассчитывать средний коэффициент загрузки оборудования $K_{з.об.ср.}$ по участку, для чего используют формулу

$$K_{з.об.ср.} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} C_{pi}}{\sum_{i=1}^{i=n} C_{ni}} \quad (10.7)$$

где n – количество станков, расположенных на участке;

C_{pi} , C_{ni} – соответственно расчетное и принятое число станков.

Количество станков, обслуживаемое одним рабочим, рассчитывают по формуле (9.40).

Зная $T_{шт.к}$, затраченное на выполнение операции при обработке детали на соответствующем станке, определяют суммарную станкоемкость механообработки детали $T_{o\Sigma}$ [ст-ч], для чего используют формулу

$$T_{o\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} t_{шт.к} \cdot N}{60}, \quad (10.8)$$

где $T_{шт.к}$ – время обработки на соответствующем станке;
 n – количество станков, проходимых заготовкой;
 N – годовой объем выпуска деталей.

Расчет количества рабочих

Количество производственных рабочих P_p определяют по формуле

$$P_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{F_p}, \quad (10.9)$$

где F_p – действительный фонд времени работы одного рабочего.

Действительный фонд времени работы одного рабочего составляет в год $F_p = 1820$ при 4- часовой неделе, продолжительности смены 8,2 ч. и продолжительности отпуска 24 дня.

Расчетное число рабочих округляют до целого числа и получают принятое число рабочих P_n . Коэффициент загрузки рабочих K_p определяют по формуле

$$K_p = \frac{P}{P_n}. \quad (10.10)$$

Повышение коэффициента загрузки рабочих достигают путем введения многостаночного обслуживания, для чего необходимо рабочих обучить смежным профессиям.

Трудоемкость изготовления изделия для серийного и мелкосерийного производств определяют по формуле

$$T_u = \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=m} t_{шт.к}, \quad (10.11)$$

где n – количество изготавливаемых деталей в изделии;

m – количество выполняемых операций при изготовлении детали.

Трудоемкость изготовления детали обычно превышает ее станкоемкость, так как помимо времени ее изготовления на станке вручную выполняют зачистку заусенцев, клеймение и др.

В условиях многономенклатурного производства расчеты выполняют с использованием приведенной программы выпуска $N_{пр}$:

$$N_{пр} = K_{пр} \cdot N, \quad (10.12)$$

где $K_{пр}$ – общий коэффициент приведения, определяемый как произведение коэффициентов приведения по массе K_m , по серийности $K_{сер}$, по сложности $K_{сл}$, то есть $K_{пр} = K_m \cdot K_{сер} \cdot K_{сл}$.

Число вспомогательных рабочих обычно принимается в пределах 25 % от основных рабочих, при этом 60 % вспомогательных рабочих предназначается для обслуживания оборудования, а 40 % – для обслуживания цеха. Вспомогательные рабочие в цехе выполняют уборку стружки, уборку помещений, работают электриками, сторожами. Число руководителей производства составляет обычно не более 5 % от общего числа основных и вспомогательных рабочих. Число специалистов – 10 % от общего числа основных и вспомогательных рабочих, а число служащих – 2 % от общего числа основных и вспомогательных рабочих.

10.4. Типизация технологических процессов. Групповая обработка заготовок

Одним из эффективных средств дальнейшего увеличения производительности труда и внедрения в производство наиболее производительных и экономичных технологических процессов, обеспечивающих требуемое качество выпускаемых изделий, является типизация технологических процессов.

Под типизацией технологических процессов понимается разработка технологических процессов на изготовление типовых деталей и сборку машин, в которых наиболее полно используются достижения науки и техники и передовой опыт машиностроительных предприятий.

Работу по типизации технологических процессов выполняют в два этапа:

- на первом этапе осуществляют классификацию изготавливаемых деталей машин и выявляют типовую деталь в каждом из классов;
- на втором этапе разрабатывают типовые технологические процессы на изготовление типовых деталей соответствующих классов.

Таким образом, первый этап типизации – классификация, основной задачей которой является приведение всего многообразия деталей, их поверхностей и сочетаний к минимальному количеству типов, для которых можно разработать типовые технологические процессы обработки.

Основными признаками для классификации деталей являются: общность их служебного назначения, близкая по геометрии конфигурация, близкие габаритные размеры деталей; одинаковый уровень параметров точности, включая требования к шероховатости поверхностей, а также близкие параметры материала, что определяет в целом общность процесса обработки. Помимо этого, учитывают также объём выпуска, раз-

мер партии обрабатываемых заготовок, условия производства и систему организации, применяемое оборудование, инструмент и др.

Построение технологической классификации деталей осуществляют путем деления их на классы, к которым относят: валы, зубчатые колёса, корпуса, втулки, диски, рычаги, плиты, ходовые винты и червяки и др. Каждый класс деталей, в свою очередь, делят на подклассы, а затем на группы и подгруппы, в которых учитывают характерные конструктивные признаки деталей. Разбивка классов на подклассы, группы и подгруппы заканчивается типом (типовой деталью).

В группе деталей, подобранных на основе изложенных выше положений, выбирают типовую деталь, которая охватывает конструктивные особенности и требования всех деталей группы. Если такую деталь среди группы подобрать трудно, тогда создается «комплексная» деталь, то есть искусственная деталь, охватывающая все особенности деталей группы. Типовую (комплексную) деталь удобно получить путем вычерчивания в одном масштабе всех деталей группы при наложении их контуров.

На типовую или «комплексную» деталь разрабатывают типовой технологический процесс и необходимую для обработки всех деталей группы технологическую оснастку. Таким образом, типовая деталь представляет совокупность деталей одного класса, имеющих в определенных производственных условиях одинаковый маршрут, составленный из типовых технологических операций. Типовая технологическая операция характеризуется единством содержания и определенной последовательностью технологических переходов, выполняемых при изготовлении группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

Выполнение классификации деталей обычно сочетают с унификацией и стандартизацией их конструкций или отдельных элементов. Это позволяет увеличить количество деталей в партии и применить при их изготовлении более прогрессивную технологию, сократив номенклатуру используемого режущего инструмента и другой технологической оснастки.

Типовые технологические процессы разрабатывают на основе анализа и обобщения опыта передовых предприятий с учетом объема выпуска изделий.

В них предусматривают использование высокопроизводительного

оборудования, типовых схем базирования и типовой технологической оснастки, средств механизации и автоматизации, использование прогрессивных методов получения и обработки заготовок.

На машиностроительном предприятии разработку типовых технологий рекомендуется выполнять в двух вариантах. Рабочий вариант разрабатывают с учетом условий завода и имеющегося оборудования. Перспективный вариант разрабатывают с учетом возможности использования всех достижений, включая современные методы обработки, применение новейшего оборудования и прогрессивных методов организации производства.

Типовые технологические процессы оформляют в виде технологических карт. На основе разработанного типового технологического процесса составляют рабочие технологические процессы для конкретных деталей данного класса. Это делают путем удаления из типового процесса отдельных операций, выполнения которых для изготовления данной детали не требуется. В результате работа инженера-технолога существенно упрощается, а качество технологического проектирования возрастает. При этом представляется возможным составлять качественные технологии на достаточно сложные детали технологом, не имеющим большого опыта работы на предприятии.

На рис. 10.2 в качестве примера приведен типовой технологический маршрут изготовления ступенчатых валов, включающий выполнение 19 операций, которые необходимы для изготовления типовой детали – вала-шестерни. Для изготовления других деталей данного класса требуется выполнение меньшего числа операций. Так, например, согласно конструкции гладкого полого вала, для его изготовления необходимо выполнить 10 операций, а для шлицевого вала-шестерни – 15 операций. Пример, приведенный на рис. 10.2, наглядно показывает, что типовая деталь объединяет совокупность деталей определенного класса, которые могут быть изготовлены по общему технологическому маршруту, составленному из типовых операций, выполняемых на однотипном оборудовании с использованием однотипных приспособлений.

Если процесс разработан на унифицированные детали, то для них составляют одну технологическую карту с нормами времени. По мере приобретения нового оборудования, совершенствования методов обработки и технологий типовые технологические процессы периодически корректируют.

Типизация технологических процессов обеспечивает устранение многообразия возможных технологических решений при изготовлении

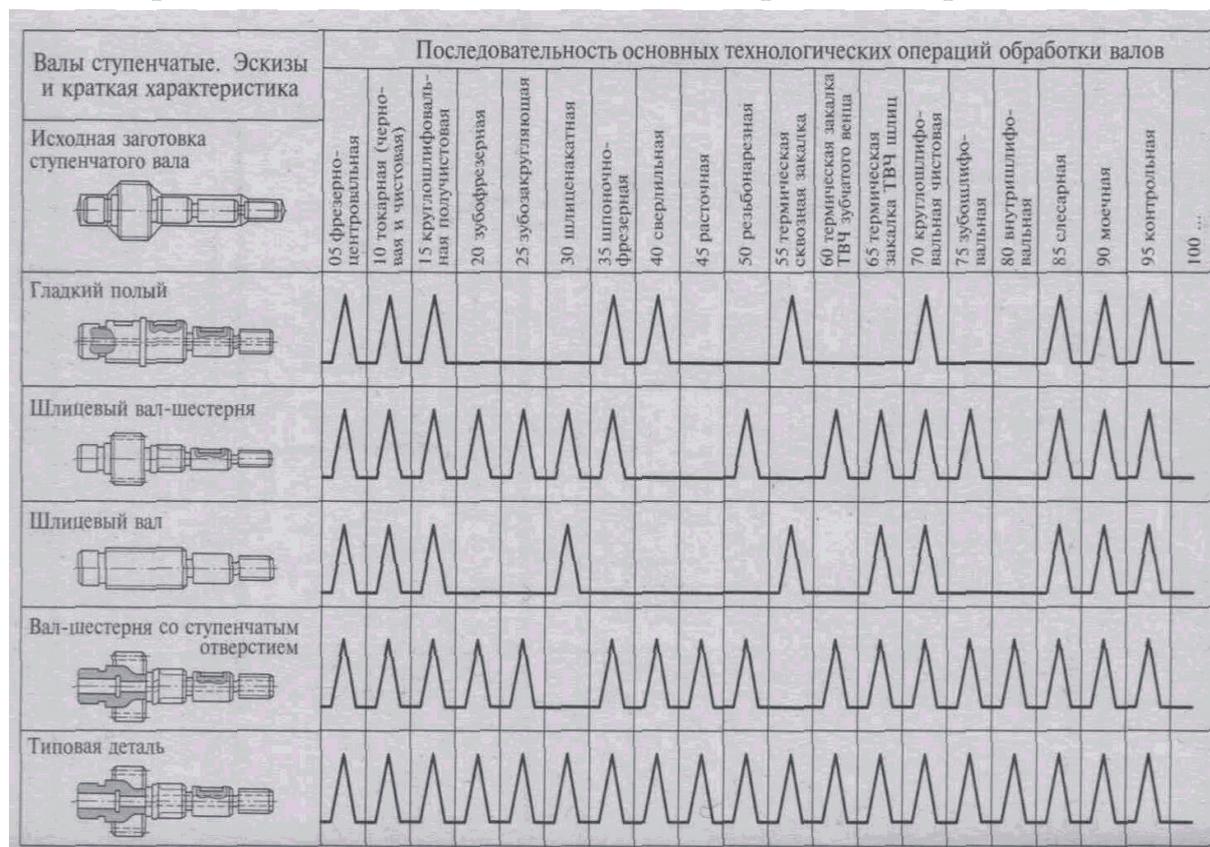


Рис. 10.2. Типовой технологический маршрут изготовления ступенчатых валов деталей различного класса путем обоснованного сведения их к ограниченному числу наиболее эффективных вариантов, обеспечивающих короткий путь достижения требуемой точности деталей с наибольшей производительностью.

Классификация деталей по размерам конфигурации и общности процессов обработки позволяет любую деталь машины относить к тому или иному классу, что позволяет получить технологический процесс ее изготовления, подобный процессу типовой детали данного класса.

Применение типовых технологических процессов не только способствует внедрению передового опыта в машиностроение, но также позволяет существенно уменьшить трудоемкость разработки рабочих технологий на новые изделия, обеспечив сокращение цикла подготовки производства, значительно упрощает работу инженерам-технологам.

Типизация технологических процессов существенно сокращает технологическую подготовку производства и обеспечивает стабиль-

ность качественных показателей изготавливаемых изделий. Типовые технологические процессы являются информационной основой создания систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП).

Непрерывное развитие науки и техники, создание новых методов обработки и оборудования обуславливают необходимость систематического пересмотра типовых технологических процессов для отражения в них новейших достижений науки и передового производственного опыта.

Ознакомление технологов, конструкторов и других заводских работников с типовыми технологическими процессами повышает квалификацию работников и позволяет принимать эффективные технические решения на этапах проектирования и изготовления по созданию технологичных машин.

Метод групповой обработки, существенный вклад в разработку которого внес профессор С. П. Митрофанов, представляет одно из направлений типизации технологических процессов. Применение этого метода позволяет повысить эффективность использования оборудования и значительно увеличить производительность обработки в единичном и мелкосерийном производстве [14].

Метод групповой обработки предусматривает выполнение классификации с выделением таких групп деталей, для изготовления которых может быть использовано одинаковое оборудование, общие приспособления и настройка станка. Этот метод может быть использован как для полного изготовления группы деталей, имеющих общую последовательность операций, так и для выполнения отдельных операций.

Групповой технологической операцией называется общая для группы различных деталей операция, которая выполняется на определенном оборудовании, одними и теми же (общими) режущими инструментами с использованием групповой оснастки, позволяющей выполнить обработку всей группы заготовок без переналадки или с незначительной переналадкой оборудования.

Групповые технологические операции разрабатывают с учетом специализации рабочих мест, которая достигается применением переналаживаемой технологической оснастки, целевой модернизацией и наладкой оборудования. Групповую технологическую операцию можно разрабатывать и применять как составную часть группового техно-

логического процесса (маршрута) и как однооперационный групповой технологический процесс на отдельную операцию.

Схему групповой наладки станка разрабатывают для наиболее сложной детали, которая включает все поверхности, встречающиеся у остальных деталей группы. Так, например, для деталей типа тел вращения, представленных на рис. 10.3, эти поверхности определены соответствующими номерами от 1 до 18: наружные и внутренние цилиндрические и конические поверхности, наружные и внутренние выточки, резьбы, фаски, поверхности, получаемые накаткой, и прочие. Все эти поверхности имеют место на представленной в центре рис. 10.3 комплексной детали. Если среди более простых деталей группы встречаются отдельные поверхности, отсутствующие на комплексной детали, то эти поверхности искусственно добавляют в её чертёж. Следовательно, комплексная деталь (реальная или условная) должна содержать в себе все геометрические элементы деталей данной группы. Группу деталей, представленную на рис. 10.3, изготавливают на токарно-револьверном станке. Составленный на комплексную деталь технологический процесс токарно-револьверной обработки с небольшими дополнительными подналадками станка применим для изготовления любой другой детали данной группы. В тех случаях, когда на конкретной изготавливаемой детали отсутствуют те или иные поверхности, предусмотренные в комплексной детали, в операции ее изготовления исключается соответствующий переход, выполняемый опреде-

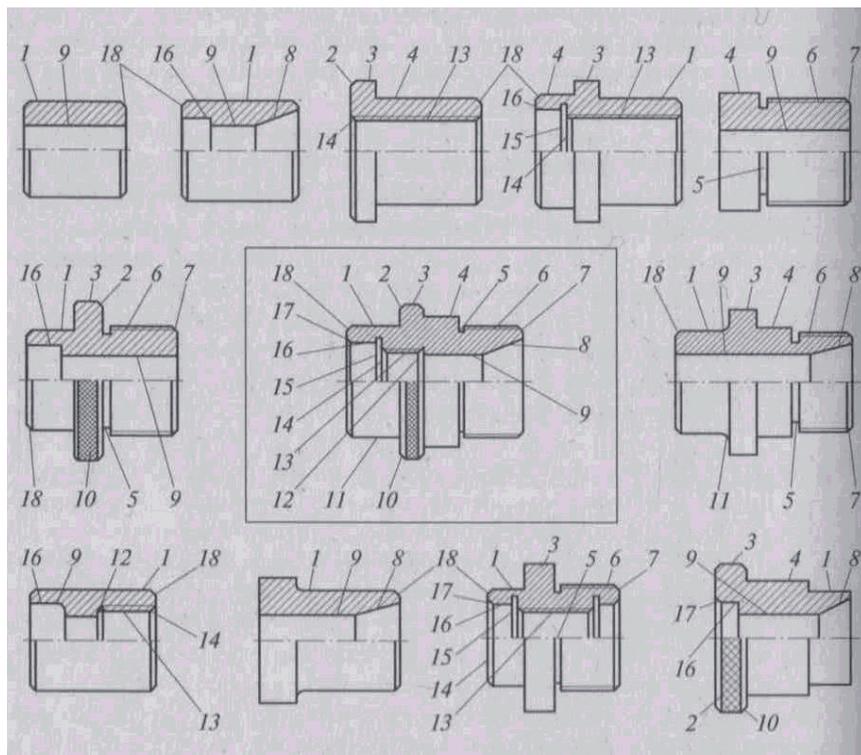


Рис. 10.3. Комплексная деталь и детали ее группы, изготавливаемые на токарно-револьверном станке

резьбы, фаски, поверхности, получаемые накаткой, и прочие. Все эти поверхности имеют место на представленной в центре рис. 10.3 комплексной детали. Если среди более простых деталей группы встречаются отдельные поверхности, отсутствующие на комплексной детали, то эти поверхности искусственно добавляют в её

чертёж. Следовательно, комплексная деталь (реальная или условная) должна содержать в себе все геометрические элементы деталей данной группы. Группу деталей, представленную на рис. 10.3, изготавливают на токарно-револьверном станке. Составленный на комплексную деталь технологический процесс токарно-револьверной обработки с небольшими дополнительными подналадками станка применим для изготовления любой другой детали данной группы. В тех случаях, когда на конкретной изготавливаемой детали отсутствуют те или иные поверхности, предусмотренные в комплексной детали, в операции ее изготовления исключается соответствующий переход, выполняемый опреде-

ленным режущим инструментом. Такой технологический процесс, реализующий групповую обработку, получил название *технологического процесса групповой операции*.

После уточнения содержания технологических переходов и разработки схемы групповой наладки проектируют и изготавливают необходимую групповую технологическую оснастку (приспособления и инструменты). Параллельно выполняют целевое переоборудование (модернизацию) станка. В отдельных случаях для выполнения групповой обработки создают специальные станки и в частности станки, агрегатного типа.

Групповую обработку эффективно применяют как для деталей, цикл изготовления которых ограничивается только одной групповой операцией, например заготовительной, револьверной или отделочной, так и для деталей, которые после групповой операции проходят обработку по единичным (индивидуальным) процессам или входят в новые группы заготовок, формируемые для других групповых операций.

Применение групповой обработки в условиях мелкосерийного и серийного производства позволяет создавать перенастраиваемые высокопроизводительные многопредметные поточные автоматические линии.

Групповую обработку широко используют на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах, применяемых как отдельно, так и в составе гибких производственных систем (ГПС) для автоматизации единичного и мелкосерийного производства.

Типизация технологических процессов и групповая обработка в целом представляют собой прогрессивные методы унификации технологических процессов, позволяющие перенести высокопроизводительные методы массового производства в условия единичного и мелкосерийного производства.

10.5. Технологичность конструкции деталей и изделия

Под технологичностью изделия понимается создание у изделия таких геометрических форм и других параметров, которые позволяют наиболее производительно изготовить данное изделие с использованием прогрессивных технологических процессов, обеспечив его минимальную себестоимость [5, 29].

Конструкцию детали принято называть технологичной, если она позволяет полностью и эффективно использовать все возможности и

особенности наиболее экономичного технологического процесса ее изготовления, обеспечивающего достижение требуемого качества детали при заданном объеме ее выпуска.

Технологичность изделия представляет собой комплексный показатель, который зависит как от технологичности самой конструкции изделия (машины), так и от технологичности деталей, образующих данное изделие. Оценка технологичности изделия может быть качественной и количественной. В первую очередь на основе анализа выполняют качественную оценку и делают одно из заключений, что изделие технологично, нетехнологично или недопустимо для производства, что означает необходимость его дальнейшей проработки. Это заключение является приближенным, оно направлено на выявление путей повышения технологичности изделия.

Количественная оценка предусматривает расчет прямых или косвенных показателей, непосредственно характеризующих технологичность изделия по трудоемкости его изготовления, по технологической себестоимости, по унификации конструктивных элементов и др. Получение таких показателей позволяет сравнить два или несколько вариантов конструкции и выбрать наиболее технологичный вариант.

Для того чтобы изготавливаемое изделие (машина) имело наименьшую себестоимость, требуется тщательная проработка ее конструкции и отдельных деталей на технологичность.

Технологичность детали в общем случае означает задание таких ее геометрических форм и других параметров, включая материал и термообработку, которые позволяют наиболее экономично и производительно изготовить деталь в данных производственных условиях с использованием прогрессивных типовых технологических процессов.

Технологичность детали анализируется с учетом программы ее выпуска, типа организуемого производства. При анализе детали на технологичность, в первую очередь, оценивают сложность ее геометрической формы, соответствие ее материала и геометрии методу получения заготовки. Необходимо учитывать также требования к точности формы, размеров, относительного положения поверхностей, а также требования к состоянию поверхностного слоя – шероховатости поверхности, виду термообработки, структуре материала и его физико-химическим свойствам.

Материал изготавливаемой детали должен соответствовать методу

получения заготовки, который, в свою очередь, должен отвечать объему выпуска. Так, например, для деталей из сталей, обладающих плохими литейными свойствами, в качестве заготовок не могут быть использованы отливки, а для деталей из серого чугуна – поковки. При этом следует избегать неоправданного многообразия используемых материалов.

На рис. 10.4 представлены два вида заготовок, применяемых для изготовления одной и той же корпусной детали. Заготовка-отливка (рис. 10.4, *а*), получаемая из серого чугуна СЧ-15, применяется в условиях серийного и крупносерийного производства. Однако для условий единичного и мелкосерийного производства она является не технологичной, так как изготавливать дорогостоящий литейный комплект и организовывать литейный цех для получения малого числа корпусов экономически нецелесообразно. Для этих условий технологичной и более дешевой является сварная заготовка (рис. 10.4, *б*), изготовление которой не требует предварительных затрат. Однако для получения такой заготовки потребовалось изменить материал и конструкцию корпуса (см. рис. 10.4, *б*), который в этом случае изготавливают из листовой стали ст.3, ст.5.

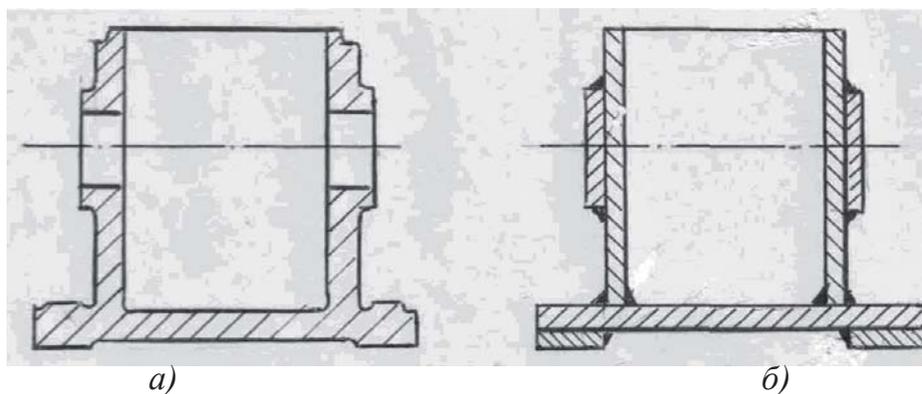


Рис. 10.4. Два вида заготовок, применяемые для изготовления корпусной детали при различной серийности производства: *а* – заготовка-отливка; *б* – сварная заготовка

Заготовки, выбираемые с учетом программы выпуска и материала детали, должны по форме и размерам как можно ближе соответствовать готовой детали, что позволяет уменьшить количество технологических переходов и операций. Так, например, шпилька, получаемая из горячекатаного прутка, обрабатывается точением по всему контуру. Однако в случае применения более технологичной заготовки – калиброванного прутка, у которого более высокая точность диаметрального размера соответствует точности детали, – точения по всему контуру не требуется.

Технологичность детали предусматривает наиболее полное использование принципов унификации и стандартизации при проектировании ее геометрических форм. Применение нестандартных посадок, резьбовых и шпоночных соединений требует дополнительного изготовления специального инструмента, что значительно удорожает изделие. Большое разнообразие посадок, диаметров резьбовых и гладких отверстий означает необходимость увеличения номенклатуры режущего инструмента, что также влечет за собой удорожание изготавливаемой детали. Поэтому следует стремиться к ограничению ряда диаметральных размеров гладких и резьбовых отверстий. Отработка детали на технологичность позволяет изготовить ее в рамках типового технологического процесса с применением унифицированной технологической оснастки и ограниченной номенклатуры инструмента.

Таким образом, изготовление технологичной детали как правило осуществляется в соответствии с типовым технологическим процессом для деталей данного класса без введения дополнительных переходов и операций, усложняющих этот процесс.

Ниже приведены характерные примеры технологичных и нетехнологичных решений при разработке конструкций деталей машин.

Геометрия технологичной детали должна иметь комплект удобных технологических баз для установки и закрепления заготовки на различных станках при обработке соответствующих поверхностей. Наружные обрабатываемые поверхности деталей корпусного типа следует располагать на одном уровне с возможностью свободного входа и выхода режущего инструмента для выполнения обработки на проход (рис. 10.5, *а*, *б*). С этой же целью главные отверстия желательно делать гладкими. При этом

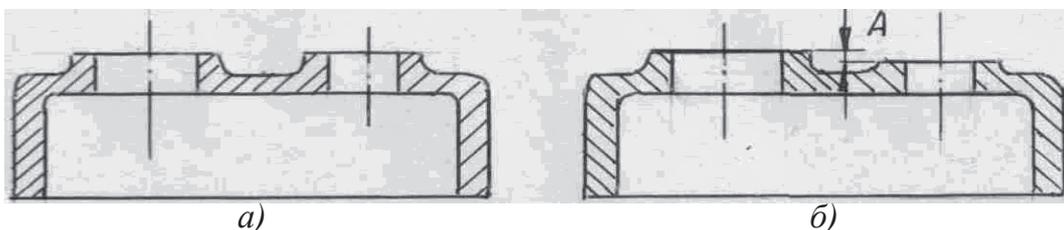


Рис. 10.5. Схемы расположения наружных обрабатываемых поверхностей у деталей корпусного типа: *а* – технологичное; *б* – нетехнологичное

диаметральные размеры соосных отверстий на внутренних стенках не должны превышать диаметральные размеры отверстий на внешних стенках корпуса (рис. 10.6, *а*, *б*). В противном случае после введения

оправки в корпус необходимо вручную выполнять замену режущего инструмента на инструмент большего размера.

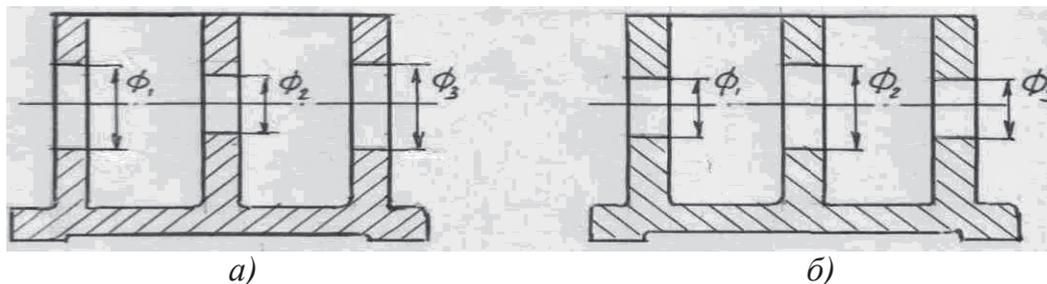


Рис. 10.6. Корпусные детали с различными диаметральными размерами соосных отверстий на внутренних и наружных стенках: *а* – технологичные; *б* – нетехнологичные

Обязательным элементом геометрии детали должны быть канавки для выхода инструмента – резьбового или долбежного резца, шлифовального круга, зуборезного долбяка и др.

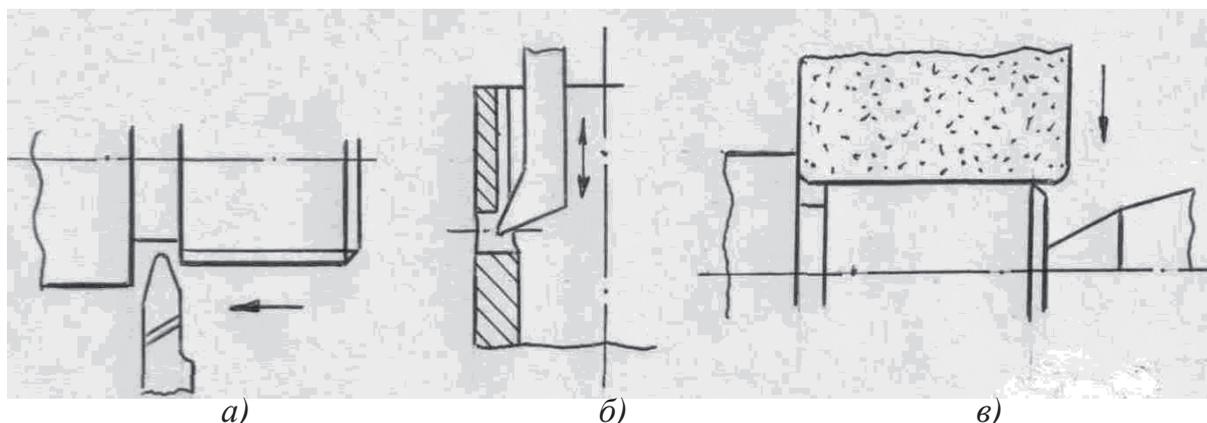


Рис. 10.7. Наличие канавок для выхода режущего инструмента, определяющих технологичность деталей: *а* – для выхода резьбового резца; *б* – для выхода долбежного резца; *в* – для выхода шлифовального круга

Отсутствие канавки для выхода резца при нарезании резьбы (рис. 10.7, *а*) или отсутствие отверстия при долблении паза (рис. 10.7, *б*) приводит к поломке резцов на выходе. В свою очередь, отсутствие канавки при выходе шлифовального круга (рис. 10.7, *в*) влечет за собой выкрашивание кромки круга и исключает возможность достижения перпендикулярности торца вала относительно оси опорной шейки.

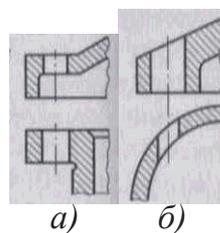


Рис. 10.8. Расположение плоских поверхностей на торце отверстий: *а* – технологичное; *б* – нетехнологичное

Плоские поверхности на входе и выходе осевого инструмента – сверла, зенкера – следует располагать перпендикулярно к оси

(рис. 10.8, *a, б*). Для сложно-профильных деталей, обрабатываемых на контурно-фрезерных станках, включая станки с ЧПУ, сопряженные поверхности следует соединять единым радиусом, совпадающим с радиусом применяемой концевой фрезы.

На гладких и резьбовых отверстиях, а также на валах должны быть предусмотрены входные фаски. Необходимо предусматривать также галтели или проточки для точной установки подшипников.

Улучшению технологичности детали способствует также уменьшение площади обрабатываемых поверхностей. На рис. 10.9 представлены два варианта основания корпуса. В первом случае (рис. 10.9, *a*) основа-

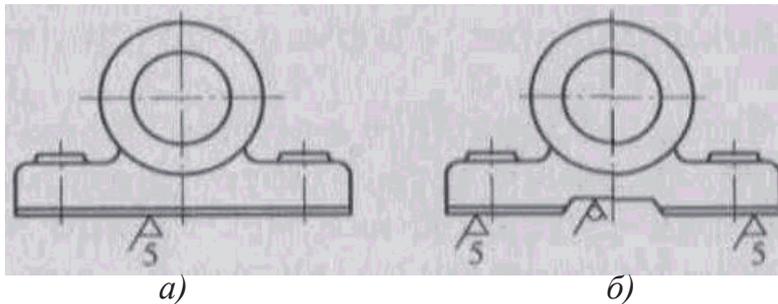


Рис. 10.9. Два исполнения установочной базовой поверхности корпуса: *a* – нетехнологичное; *б* – технологичное

сnižается трудоемкость изготовления детали и повышается точность ее установки.

Аналогично для уменьшения трудоемкости обработки торцовых поверхностей зубчатых колес на торце штампованной заготовки выполняют кольцевое занижение, при этом торец зубчатого венца и ступицы распола-

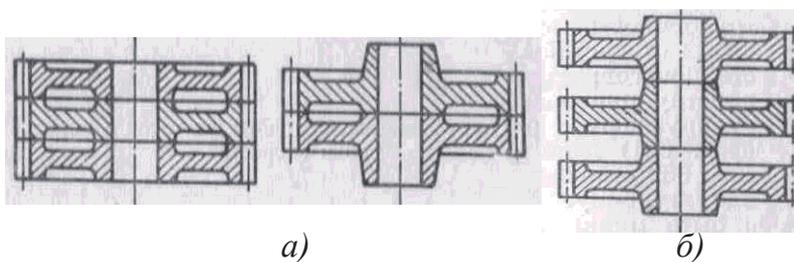


Рис. 10.10. Два варианта расположения обрабатываемых поверхностей на торце зубчатых колес: *a* – технологичное; *б* – нетехнологичное

гают на одном уровне (рис. 10.10, *a, б*).

Это достигнуто путем создания занижения в отливке. В результате снижается трудоемкость изготовления детали и повышается точность ее установки.

Технологичность детали и конструкции тесно связаны с программой выпуска изделия. Переход на большие объемы выпуска изделия обычно влечет за собой также необходимость изменения его конструкции с целью достижения ее технологичности при новых технологиях эффективных для больших объемов выпуска. Так, например, в условиях

мелкосерийного и единичного производства деталь типа колпачок имеет конструкцию, представленную на рис. 10.11, *а*. Колпачок в этом случае изготавливают на токарно-револьверном станке и используют в качестве заготовки круглый прокат. При этом выполняют следующие технологические переходы (рис. 10.11, *а*):

- 1) выставка прутка до упора;
- 2) подрезка торца поперечным точением;
- 3) сверление отверстия на заданную глубину;
- 4) продольное точение по наружному диаметру;
- 5) отрезка детали от прутка поперечным точением.

В крупносерийном и массовом производстве себестоимость колпачка, изготовленного по такой технологии, будет высокой. Для снижения себестоимости необходимо изменить технологию и получать колпачок путем холодной листовой штамповки на прессе. Однако конструкция колпачка при новом технологическом процессе получения заготовки должна быть изменена (см. рис. 10.11, *б*).

Требования технологичности деталей должны учитывать также возможные способы обработки и применяемое для этого оборудование. Необходимо обеспечить соответствие конструкции требованиям типовых технологи-

ческих процессов данного производства. Геометрия, масса и габариты деталей, а также требования по точности должны отвечать технологическим возможностям применяемых станков. Необоснованно завышенная точность отдельных размеров, а также параметры несоответствия типовому технологическому процессу требуют корректировки при отработке изделия на технологичность.

К факторам технологичности конструкции изделия относятся также: обеспечение соответствия конструкции условиям производства и эксплуатации; преимущество конструктивных решений; рациональная компоновка и наличие четкого деления на сборочные единицы –

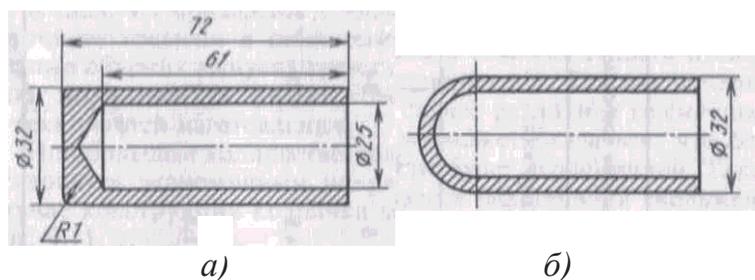


Рис. 10.11. Схема конструкции и обработки колпачка при различных объемах его выпуска: *а* – конструкция колпачка для мелкосерийного производства; *б* – конструкция колпачка для крупносерийного и массового производства

узлы, подузлы, комплекты. Последнее позволяет осуществить более простую раздельную, узловую сборку и реализовать ремонт машины путем замены соответствующих сборочных единиц.

Технологичность конструкции может быть объективно оценена путем расчета количественных показателей технологичности, среди которых различают частные, комплексные и базовые.

Одним из показателей технологичности конструкции изделия является также преобладание конструктивных решений, степень унификации и стандартизации применяемых в конструкции деталей и узлов. Для оценки технологичности изделия по этому косвенному показателю определяют коэффициент унификации κ_y , который представляет отношение

$$\kappa_y = \frac{n_y}{n},$$

где n_y – количество унифицированных и стандартных деталей в изделии;
 n – общее число деталей в изделии.

Для серийного производства он составляет в среднем $\kappa_y = 0,27 \div 0,35$.

При создании близких по служебному назначению изделий нескольких типоразмеров необходимо стремиться к тому, чтобы в их конструкции было как можно большее число одинаковых унифицированных деталей и узлов. При этом, однако, необходимо стремиться к уменьшению общего количества типоразмеров применяемых нормальных и стандартных деталей, таких как болты, винты, гайки, шайбы, шпонки, штифты, подшипники, детали гидросистем и др.

Уровень технологичности изделия по материалоемкости k_m оценивают как отношение проектной материалоемкости изделия M_{Π} к базовой M_B :

$$k_m = \frac{M_{\Pi}}{M_B}.$$

Для оценки технологичности заготовки применяют коэффициент использования материала – отношение массы детали $G_{дет}$ к массе заготовки $G_{заг}$:

$$\eta = \frac{G_{дет}}{G_{заг}}.$$

Уровень технологичности изделия по технологической себестоимости k_c определяют как отношение:

$$k_c = \frac{C_{\Pi}}{C_B},$$

где C_{Π} и C_B – соответственно проектная и базовая себестоимости изделия.

Обработка изделия на технологичность должна выполняться на протяжении всего цикла создания изделия как на этапах конструкторского, так и на этапах технологического проектирования. При этом следует в комплексе анализировать вопросы технологичности при сборке изделия и при изготовлении отдельных деталей данного изделия. Конструкция изделия может быть технологичной для выполнения сборки, а детали изделия могут при этом быть нетехнологичны для механообработки. В качестве примера на рис. 10.12 представлены две возможные конструкции валика для одного и того же изделия. Ступенчатый валик (рис. 10.12, а) технологичен для сборки, так как представляет одну деталь. Однако трудоемкость его механообработки по сравнению с гладким валиком (рис. 10.12, б) несколько выше, поэтому он считается менее нетехнологичным при механообработке.

В свою очередь, гладкий валик (см. рис. 10.12, б) технологичен для механообработки и нетехнологичен для сборки, так как при сборке требуется установка дополнительной

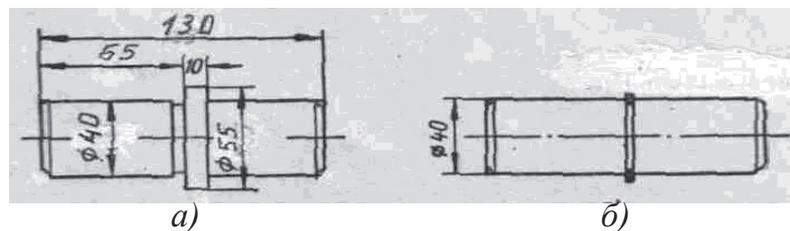


Рис. 10.12. Две возможные конструкции валика: а – ступенчатый валик; б – гладкий валик с канавкой для стопорного кольца

детали – стопорного кольца. Введение дополнительных сборочных переходов, связанных с установкой кольца, означает увеличение трудоемкости сборки и увеличение себестоимости изделия. При этом следует учитывать также себестоимость изготовления стопорного кольца.

Таким образом, технологичность изделия следует оценивать в комплексе, рассматривая, исходя из его служебного назначения, технологию сборки изделия, технологию изготовления его деталей и ремонтпригодность изделия. Подобный анализ обычно выполняют совместно конструктор и ведущий технолог. В результате этого принимается оптимальное, компромиссное решение.

10.6. Унификация, стандартизация и сертификация в машиностроении

Под унификацией понимается использование в различных машинах одних и тех же деталей и сборочных единиц. Унификация является эффективным способом увеличения объема выпуска и снижения се-

цию ряда базовых деталей и узлов универсально-фрезерных станков. Детали и узлы, используемые для создания различных компоновок фрезерных станков, выделены одинаковой штриховкой. К таким деталям относятся поперечные и продольные столы, хобот, серьга и др. К унифицированным узлам относятся коробка скоростей, коробка подач, пульты управления и др.

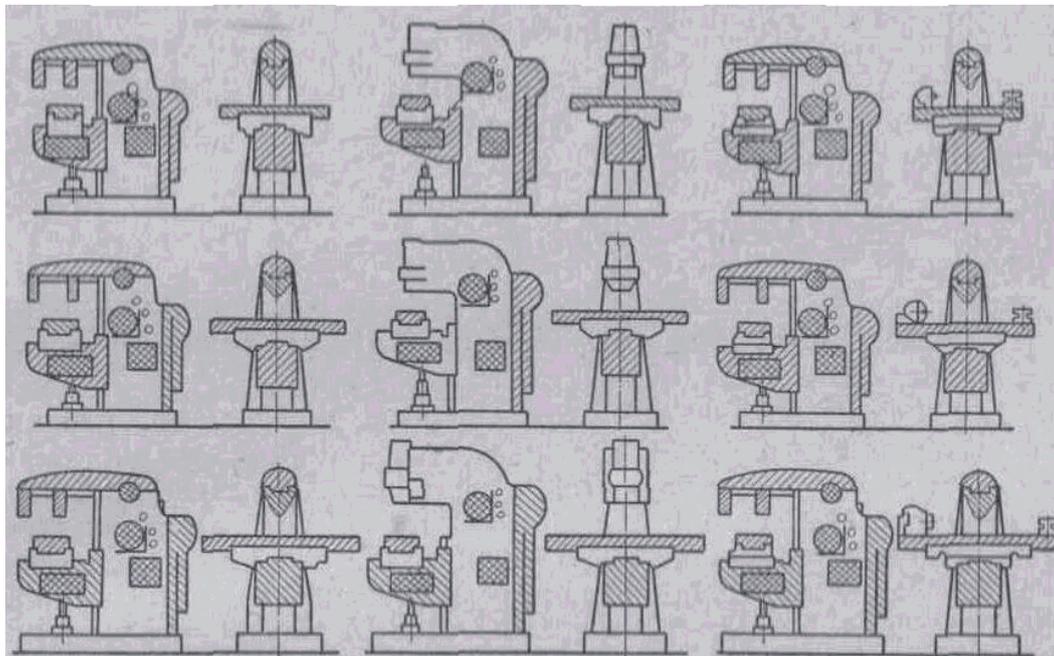


Рис. 10.14. Схема применения унифицированных базовых деталей и узлов в компоновках универсально-фрезерных станков

Унификация предполагает уменьшение числа типоразмеров и марок изделий, что способствует сокращению номенклатуры деталей, необходимой технологической оснастки, режущего и измерительного инструмента. Для изготовления унифицированных деталей создают специальные цеха и заводы с применением передовой технологии и организации производства, что позволяет существенно снизить их себестоимость.

Практика машиностроительного производства показывает, что если в мелкосерийном производстве трудоемкость изготовления изделий составляет 100 %, то при изготовлении тех же изделий в среднесерийном производстве их трудоемкость снижается и составляет 35...50 %, в крупносерийном 15...32 %, а в условиях массового производства она составляет 7...12 %. При этом снижение себестоимости изделий в массовом производстве по сравнению с мелкосерийным достигает более 70 %.

Применение в машинах унифицированных, стандартных деталей

и узлов облегчает процесс их эксплуатации, обеспечивая ремонтпригодность машин. Восстановление работоспособности машин при этом осуществляется путем замены вышедших из строя деталей или сборочных единиц на новые с обеспечением точности методом взаимозаменяемости.

Для оценки уровня унификации изделия применяют коэффициент унификации $k_y = n_y/n$, представляющий отношение количества унифицированных и стандартных деталей n_y к общему числу деталей n в изделии (см. параграф 10.5). Унификация обеспечивает широкие возможности для кооперации между различными предприятиями как в пределах одной отрасли, так и для предприятий различных машиностроительных производств.

Стандартизация определяет установление и применение обязательных норм и требований, которым должны соответствовать качественные характеристики материалов, а также типы, размеры и качественные характеристики деталей, узлов и готовых изделий. В зависимости от объекта стандартизации и уровня принятия различают:

- *Государственные стандарты* Российской Федерации (ГОСТ Р), объектами которых являются продукция, работа и услуги, имеющие межотраслевое значение, их принимает Госстандарт России;
- *отраслевые стандарты* (ОСТ), которые разрабатываются и применяются государственными органами применительно к продукции, работам и услугам отраслевого значения;
- *стандарты предприятия* (СТП) – стандарты, которые разрабатываются и принимаются самим предприятием; их объектами являются продукция, производимая этим предприятием, методы расчета, технологические нормы и требования, типовые процессы, оснастка, инструмент и т.п.

В перечень нормативных документов включается также *технический регламент*, который содержит технические требования к объекту стандартизации.

Сертификация продукции представляет собой процедуру подтверждения соответствия продукции установленным требованиям. Она осуществляется независимыми от производителя экспертами и оформляется соответствующими документами. Таким образом, сертификация является инструментом, гарантирующим соответствие показателей качества продукции требованиям нормативно-технической документации и стандартам.

В результате проведения сертификации составляется документ – *сертификат соответствия* (сертификат), удостоверяющий, что продукция, идентифицированная должным образом, соответствует установленным требованиям.

Выполнение сертификации преследует следующие цели:

- защита потребителя от недобросовестности изготовителя;
- контроль безопасности продукции для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества;
- подтверждение показателей качества продукции, заявленных изготовителями;
- содействие потребителям в компетентном выборе продукции;
- содействие экспорту и повышение конкурентоспособности продукции;
- создание условий для деятельности организаций на едином товарном рынке Российской Федерации, а также для участия в международном экономическом, научно-техническом сотрудничестве и международной торговле.

Сертификация может быть обязательной и добровольной. Обязательная сертификация является формой государственного контроля за безопасностью продукции. Ее объектами является продукция (товары) машиностроительного комплекса, товары электротехнической, легкой промышленности и др.

Добровольная сертификация выполняется по инициативе заявителей на условиях договора между заявителем и органом по сертификации. Основной целью ее является обеспечение конкурентоспособности продукции (работ или услуг).

Система качества представляет собой такой способ организации работ на предприятии, при котором становится возможным поставлять потребителю продукцию, наиболее полно отвечающую его требованиям.

Система качества означает совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления общего руководства качеством выпускаемой продукции на всех этапах его формирования.

Международная организация по стандартизации (ИСО) начала разработку международных стандартов по этой проблеме, известных как стандарты семейства 9000. Разработка Международных стандартов ИСО серии 9000 создала единую нормативную базу для сертификации систем качества во многих странах.

Для создания на предприятиях эффективных систем качества были разработаны стандарты ИСО 9004 и еще более 10 стандартов, которые выполняют роль пособий по разработке систем качества. Важнейшие три стандарта семейства: ИСО 9001, ИСО 9002, ИСО 9003 – носят нормативный характер и служат целям внешней оценки системы качества потребителем или третьей стороной. Именно эти три стандарта приняты в России в качестве национальных стандартов, соответственно – ГОСТ Р ИСО 9001, ГОСТ Р ИСО 9002 и ГОСТ Р ИСО 9003.

Система управления качеством должна охватывать в комплексе все составляющие производственного процесса изготовления изделий. Сертификация производства предусматривает оценку качества (сертификацию) исходных заготовок, сертификацию применяемого технологического оборудования и инструментов, сертификацию выполняемых технологических процессов сборки и механообработки, а также сертификацию средств измерения, хранения и транспортирования.

Оценка качества изготовленного изделия также осуществляется путем его сертификации, позволяющей оценить соответствие достигнутых технико-экономических параметров изделия требованиям его служебного назначения, которые определены соответствующими стандартами. Таким образом, сертификация производства является составной частью системы управления качеством, по результатам которой независимыми экспертами составляется итоговый документ – сертификат соответствия.

10.7. Автоматизация производства

Одной из основных тенденций развития современного машиностроительного производства является его механизация и автоматизация. Процесс механизация и автоматизации означает такое развитие производства, при котором функции рабочего при выполнении различных работ передаются механизмам и автоматам [33, 35]. Повышение степени автоматизации металлорежущих станков позволяет:

- 1) повысить производительность станочного оборудования;
- 2) снизить себестоимость изготовления изделий;
- 3) обеспечить более высокое и стабильное качество изделий;
- 4) облегчить труд и уменьшить утомляемость рабочего за счет удобства в обслуживании оборудованием.

Для оценки степени автоматизации станка может быть использован коэффициент η , определяющий отношение суммарной продолжитель-

ности переходов, выполняемых автоматически, к полному времени T обработки детали на станке:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} \tau_i}{T},$$

где τ_i – продолжительность автоматически выполняемого перехода;

k – число автоматически выполняемых переходов.

Обработка деталей на станках осуществляется путем выполнения в определенной последовательности основных и вспомогательных технологических переходов, определяющих технологическую операцию, выполняемую на данном станке.

Управление металлорежущим станком – это формирование управляющих воздействий на привод станка, на его механизмы и устройства, обеспечивающие необходимую последовательность выполнения работ и требуемые перемещения рабочих органов станка.

Управление металлорежущим станком может выполняться вручную, самим оператором или без его непосредственного участия системой автоматического управления.

Ручное управление осуществляется главным образом на универсальных станках, на станках общего назначения. На основе своего опыта рабочий выполняет статическую настройку станка, выбирает необходимый инструмент и режимы резания. При этом качество выполняемых работ и производительность обработки зависит от квалификации рабочего-станочника, например токаря, фрезеровщика, расточника и др. Управление существенно упрощается при использовании на станке регулируемых винтовых упоров и устройств цифровой индикации положения рабочих органов.

На специализированных станках, предназначенных для обработки близких по служебному назначению деталей, деталей схожей конфигурации и при значительных объемах выпуска, применяют автоматические системы *программного управления* (ПУ) станком. Такие системы работают по определенной программе, обеспечивая автоматизацию цикла обработки детали на станке.

Управляющая программа (УП) в общем случае представляет совокупность команд, заданных по алгоритму работы станка на определенном программноносителе для выполнения обработки конкретной детали. По функциональному назначению эти команды можно разделить на три группы:

1) технологические, которые обеспечивают точность относительного перемещения рабочих органов станка с заданными режимами обработки;

2) цикловые, обеспечивающие переключение скоростей, подачу, смену инструмента, включение и выключение СОЖ, останов шпинделя и др.;

3) служебные, которые обеспечивают согласование и контроль выполнения предусмотренных в цикле команд.

Механические системы кулачкового управления

К числу одних из первых систем автоматического управления станками относятся системы кулачкового программного управления (системы управления с распределительным валом). Их эффективно используют на токарных станках автоматах и полуавтоматах, работающих в условиях крупносерийного и массового производства. В этих системах в качестве программносителей используют кулачки барабанного типа и дисковые кулачки, установленные на вращающемся распределительном валу (рис. 10.15). Особенностью таких кулачков является то, что они одновременно выполняют функции программносителя и функции элемента привода – тягового устройства, работающего в цикловом режиме.

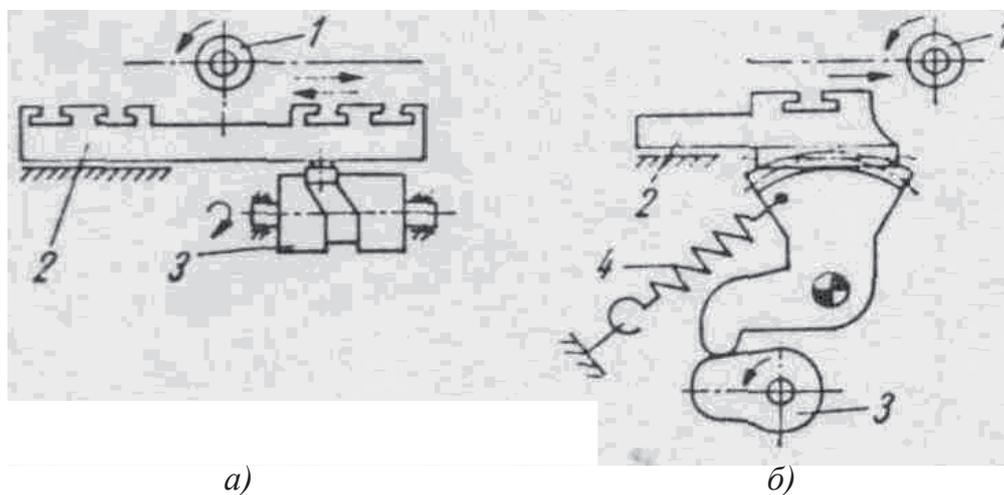


Рис. 10.15. Схема работы кулачкового привода: а – с использованием кулачка барабанного типа; б – с использованием кулачка дискового типа

В шпинделе станка 1 базируется обрабатываемая заготовка, а на подвижную каретку 2 устанавливается резцедержатель, на котором закрепляется необходимый режущий инструмент. Изменяя профиль ку-

лачка 3, можно получить требуемый закон движения рабочего органа станка.

На таких станках автоматически в требуемый момент происходит подвод и отвод рабочего органа, включение необходимого движения – вращения шпинделя или подачи – а также автоматическая установка, закрепление и съём заготовок. По окончании цикла обработки одной заготовки станок автоматически переключается на выполнение того же цикла обработки над последующей заготовкой. Обслуживающий рабочий осуществляет периодическую загрузку станка-автомата заготовками, осуществляет контроль за состоянием станка, режущего инструмента и параметрами точности изготавливаемых деталей. В качестве заготовок на этих станках используют сортовой круглый прокат, бунты проволоки для мелких деталей, а также штучные заготовки штамповок или отливок, которые устанавливают вручную или с помощью манипулятора.

По конструкции станки с кулачковыми механизмами бывают одно- и многошпиндельные, с вертикальным и горизонтальным расположением шпинделей. В прутковых токарных автоматах подача заготовок – круглого проката или проволоки – осуществляется через полый шпиндель.

На станках-полуавтоматах по окончании цикла обработки каждой штучной заготовки станок останавливается, а затем требуется участие рабочего для снятия полученной детали, установки новой заготовки и включения цикла работы станка.

Станки-автоматы с кулачковым управлением имеют высокую надежность, сравнительную простоту в обслуживании и управлении. Однако управление на таких станках осуществляется по детерминированной программе, определяемой формой кулачков, что вызывает большие сложности при перенастройке их на обработку другой, даже схожей, детали. Это связано с необходимостью изготовления и установки новых кулачков. Размеры создаваемых кулачков ограничены габаритами станка, поэтому величина перемещения рабочих органов, управляемых дисковыми кулачками, обычно составляет 100...200 мм, а при использовании барабанных кулачков – 300 мм.

В станках с кулачковым управлением отсутствует информация о фактическом положении рабочего органа, поэтому такие системы относят к системам управления незамкнутого типа.

Станки автоматы и полуавтоматы с кулачковым управлением эффективно применяют при больших программах выпуска изделий в

крупносерийном и массовом производствах. Потребность автоматизации серийного производства обусловила необходимость создания более совершенных станков, система управления которых обладает технологической гибкостью, обеспечивающей возможность их перенастройки на изготовление других однотипных деталей.

Системы циклового программного управления

Цикловым программным управлением (ЦПУ) станком, манипулятором, роботом или другим устройством является способ управления по заданной управляющей программе, составленной на основе дискретного описания реализуемого процесса, образованного из законченных переходов (этапов) с установленной очередностью их выполнения.

Циклом работы оборудования (станка) называют совокупность элементарных рабочих и вспомогательных переходов (этапов цикла), осуществляемых в определенной последовательности, необходимой для выполнения оборудованием его рабочих функций. Этапы цикла представляют собой элементарную составную (нерасчлененную) часть цикла, при обработке которой не происходит никаких изменений – включений или отключений, связанных с изменением работы оборудования. На рис. 10.16 показаны схемы циклов фрезерования плоскости у одной детали (рис. 10.16, *а*), у двух деталей (рис. 10.16, *б*) и цикл фрезерования четырех плоскостей по контуру одной детали (рис. 10.16, *в*). На приведенных схемах толстой линией со стрелкой, указывающей направление движения, определены относительные перемещения инструмента, осуществляемые на рабочей подаче. В свою очередь, тонкими двойными линиями показаны относительные перемещения, выполняемые на ускоренной подаче холостого хода. Цикл, представленный на рис. 10.16, *б*, используют для осуществления обработки по схеме маятникового фрезерования, описанного в параграфе 9.3.

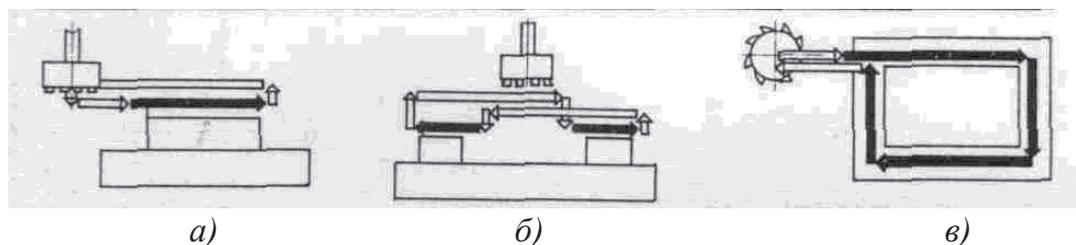


Рис. 10.16. Циклы фрезерования: *а* – одной детали; *б* – двух деталей; *в* – четырех плоскостей по контуру одной детали

Системы ЦПУ представляют собой комплекс устройств, в которых программируется цикл (последовательность) работы оборудования и

одновременно с помощью путевых переключателей устанавливается величина перемещения рабочих органов. Программа работы станка задается оператором в двух местах – на пульте управления станком и в блоке задания перемещений путем соответствующей установки путевых упоров и кулачков.

Точность срабатывания блока задания перемещений составляет $\pm 0,015$ мм. Более высокую точность перемещений $\pm 0,01$ мм получают при использовании бесконтактных (индуктивных) путевых переключателей, которые к тому же надежно работают при большей частоте срабатывания.

В отдельных системах ЦПУ задание этапов цикла, в том числе и перемещений, осуществляют с использованием реле времени. Это делают в тех случаях, когда применение других датчиков затруднено, а продолжительность данного этапа цикла остается неизменной. Применяют также смешанные системы ЦПУ, в которых осуществляют управление как по пути, так и по времени. В зависимости от решаемых задач на определенных этапах цикла формирование команд может быть выполнено и с использованием других датчиков, например датчика давления или датчика крутящего момента.

В качестве программоносителей на станках с системами циклового управления применяют также командоаппараты и штекерные панели, на которых задают режимы обработки – частоту вращения шпинделя, продольную подачу и ускоренный ход. Система управления с использованием командоаппарата по сути аналогична управлению с регулируемым упором. В этом случае регулируемые упоры (кулачки) устанавливают компактно на одном периодически вращающемся барабане. Каждой группе кулачков соответствует свой переключатель, количество которых равно числу кольцевых дорожек.

Системы ЦПУ сравнительно просты в эксплуатации и обладают достаточной надежностью. По сравнению с кулачковыми автоматами станки с ЦПУ требуют значительно меньшего времени на перенастройку при переходе с обработки одной детали к другой. Поэтому их применяют как в крупносерийном, так и в мелкосерийном производстве.

На современном технологическом оборудовании цикловое управление осуществляют с использованием программируемых логических контроллеров (ПЛК). Они предназначены для локальной автоматизации повторяющихся технологических задач и могут быть эффек-

тивно использованы для циклового управления станками, манипуляторами и сборочными автоматами при автоматизации технологических процессов механообработки и сборки изделий. Применение программируемых контроллеров позволяет существенно упростить систему управления технологическими системами путем замены блоков релейной автоматики и устройств жесткой логики на интегральных микросхемах малой и средней интеграции [13, 34].

Современные ПЛК представляют собой микропроцессорные системы с проблемно-ориентированным программным обеспечением, позволяющие реализовать различные алгоритмы логического управления автоматикой в замкнутых технологических системах. Характерной отличительной особенностью ПЛК является универсальность их структуры и инвариантность по отношению к объекту управления при решении поставленных технологических задач.

Большинство современных ПЛК, используемых для управления технологическими системами, обладают примерно равными функциональными возможностями и отличаются в основном номенклатурой и числом входов-выходов, количество которых может включать 100 и более каналов.

Программирование логических контроллеров на выполнение требуемого цикла управления операцией может осуществляться как с помощью специального подключаемого программирующего устройства, так и с помощью персонального компьютера. При использовании персонального компьютера применяют специальные языки программирования, которые ориентированы под соответствующие модели ПЛК. После задания программы контроллер работает автономно. Для перепрограммирования ПЛК установленная ранее программа стирается и в память контроллера заносится новая. Программы работы технологической системы могут быть сохранены в памяти компьютера, на дискете или на магнитном диске.

Работа контроллеров осуществляется циклически. С определенным интервалом времени в несколько миллисекунд ПЛК опрашивает свои входы, на которые подаются сигналы с датчиков исполнительных устройств, а также сигналы управления с пульта оператора. Переработка данной информации осуществляется согласно записанной в контроллере программе. В результате логического анализа и переработки поступившей информации в ПЛК формируются сигналы управле-

ния, которые выдаются на выход исполнительным устройствам технологической системы. Одновременно передается информация на панель управления и в систему индикации. Цикл работы ПЛК представлен на рис. 10.17.

Программирование технологической системы или манипулятора заключается в задании требуемых рабочих перемещений исполнительным органам по всем

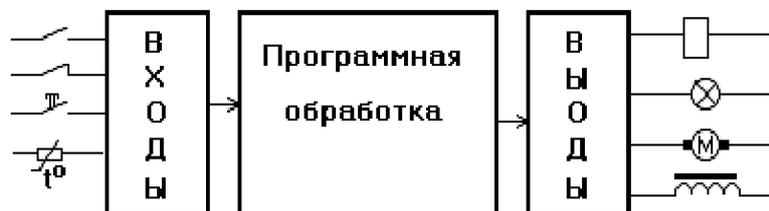


Рис. 10.17. Принципиальная схема работы программируемых логических контроллеров

управляемым координатам или степеням подвижности манипулятора. Для программирования могут быть использованы операторы редактора списка команд, в котором каждая команда содержит операцию, мнемоника которой представляет определенную функцию. Программирование может быть выполнено также с использованием редактора релейно-контактных схем. В этом случае построение логических сетей осуществляется с использованием графических компонентов релейно-контактных схем – контактов, катушек, блоков, контуров. Доступ к семействам соответствующих команд осуществляется щелчком мыши.

На отдельных программируемых технологических переходах представляется возможным организация временных задержек на заданное число микросекунд, что необходимо, например, для точной установки и фиксации устанавливаемой заготовки. Разрабатываемая программа создается в виде отдельных сегментов, номера которых формируются автоматически при компиляции или загрузке программы. При этом представляется возможным при необходимости производить вложение подпрограмм до восьми уровней. Компиляция программы и проверка синтаксиса осуществляется после введения нескольких ее сегментов. Созданная программа после ее загрузки может быть просмотрена на мониторе в виде списка выполняемых команд или в виде созданных релейно-контактных схем.

Таким образом применение контроллеров, обеспечивающих управление процессом в соответствии с разработанной логически структурированной управляющей программой, позволяет эффективно управлять как процессом механообработки деталей на различных станках, так и процессами манипулирования и автоматизированной сборки изделий.

Для изготовления деталей сложной геометрической формы на станках применяют следующие копируемые системы управления с электромеханическим, гидравлическим или электрогидравлическим приводом.

В следящих копируемых системах в качестве программносителей, определяющих геометрию изготавливаемой детали, используют плоские и объемные копии (шаблоны), которые представляют прототип создаваемой на детали поверхности.

Электромеханические, гидравлические и электрогидравлические следящие копируемые системы применяют в основном на токарных и фрезерных станках (рис. 10.18.). На токарных станках они обеспечивают одновременное управление по двум координатам, а на фрезерных станках – по двум, трем координатам. По копиру 1 перемещается щуп 2. Копируемое устройство 3 в соответствии с геометрией копира воспроизводит необходимые перемещения рабочих органов станка, которые передаются на режущий инструмент 4, создающий требуемую геометрию на обрабатываемой заготовке 5.

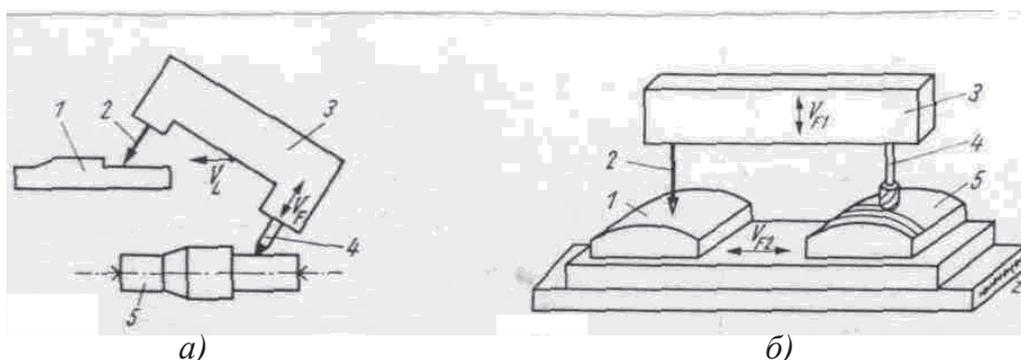


Рис. 10.18. Схема обработки на копируемых станках: а – токарных; б – фрезерных

В копируемых станках помимо следящей системы присутствует также система циклового управления с использованием регулируемых по положению кулачков и конечных переключателей. Так, например, на токарных гидрокопируемых станках-автоматах и полуавтоматах цикловое управление определяет последовательность выполнения всех переходов (этапов), образующих замкнутый цикл обработки, который включает:

- закрепление детали путем осевого подвода пиноли задней бабки, включение вращения шпинделя;
- продольное перемещение суппорта на ускоренной подаче до торца детали;

- ускоренное поперечное перемещение на заданный по копиру диаметральный размер детали;
- включение продольной рабочей подачи, выполнении точения по копиру;
- переключение оборотов шпинделя или продольной подачи на отдельных ступенях вала;
- отвод копировального суппорта в поперечном, а затем и продольном направлении до исходной точки;
- выключение шпинделя и разжим детали путем отвода пиноли.

Элементы циклового управления используют также и на станках с ЧПУ для программирования перемещений вспомогательных механизмов. Так, например, на многоцелевых станках цикловое управление применяют для создания цикла работы инструментальных магазинов, циклов работы приспособлений, поворотных столов, промежуточных накопителей для спутников и др. В таких механизмах вместо путевых выключателей применяют также устройства для бесконтактного считывания кодовых меток, информация от которых затем расшифровывается в УЧПУ.

Системы числового программного управления

Числовое программное управление (NC – Numerical Control) – управление обработкой на станке по программе, заданной в цифровой кодированной форме. При этом способе управления станком, промышленным роботом или другим устройством имеет место технологически гибкая разработка и задание управляющей программы в цифровой форме с использованием алфавитно-цифрового или унитарного кода. В станках с ЧПУ механические связи заменяют многокоординатным управлением электроприводами с заданием по программе законов движения каждого привода. Функциональная схема сверлильно-расточного станка с ЧПУ представлена на рис. 10.19.

В качестве программоносителя применяют перфоленту, магнитную ленту, магнитный диск (дискету), а также другие специальные запоминающие устройства. Разработку управляющих программ для станков с ЧПУ выполняет технолог-программист. В результате программирования, выполняемого на основе чертежа детали и данных по системе ЧПУ, получают УП, например, в виде перфоленты 1, которую устанавливают на станок в считыватель перфоленты 2 (см. рис. 10.19). В соответствии с заданной УП устройство числового программного управле-

ния (УЧПУ), расположенное в стойке 5, формирует команды перемещений рабочих органов станка 6 по управляемым координатам X, Y, Z. Одновременно выдаются технологические команды управления, которые кодируют под буквенными адресами: T – применяемый инструмент, S – частота вращения шпинделя; F – продольная подача, M – вспомогательные команды циклового управления станком. Элементы электроавтоматики станка размещены в электрошкафе 7.

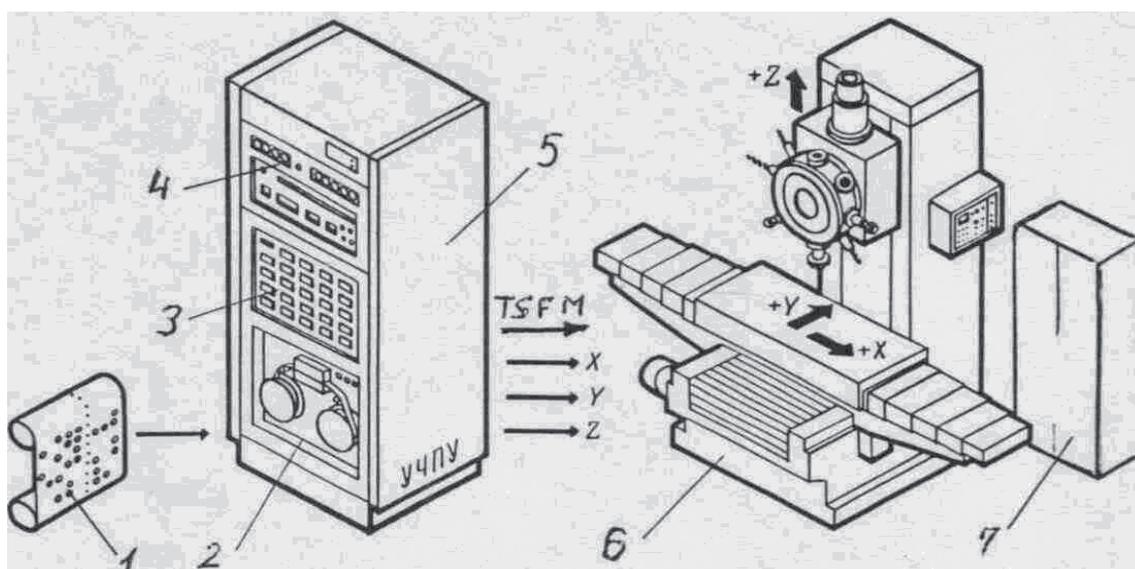


Рис. 10.19. Функциональная схема станка с ЧПУ: 1 – перфолента; 2 – считыватель перфолент; 3 – блок ввода коррекции; 4 – панель управления; 5 – стойка ЧПУ; 6 – станок; 7 – шкаф электроавтоматики

Если в процессе настройки или эксплуатации инструмента выявляются отдельные отклонения, например по диаметру концевой фрезы, радиусу при вершине резца или его вылету, то их фиксируют, а затем с помощью корректоров вносят необходимую коррекцию в размерную настройку станка. С этой целью в стойке ЧПУ 5 предусмотрен блок ввода коррекции 3 (см. рис. 10.19), в котором для каждого режущего инструмента предусмотрен индивидуальный корректор.

Помимо УП разрабатывается карта наладки, на основе которой собирают необходимое приспособление для закрепления обрабатываемой детали на станке. Одновременно составляется инструментальная карта для каждого из применяемых режущих инструментов. В инструментальной карте указывают вылет инструмента, радиус режущей кромки при вершине резца, диаметр концевой фрезы, а также центр инструмента – неподвижную относительно державки точку инструмента, по которой ведется расчет траектории. На основе этих данных осуществ-

влют размерную настройку инструмента вне станка, после чего инструмент устанавливают на станок в револьверную головку или в инструментальный магазин.

Структурная схема аппаратной системы числового программного управления и принцип ее работы показаны на рис. 10.20. В устройстве ввода 1 с помощью считывателя перфолент (СП) происходит покадровое считывание программы и преобразование представленных там команд в электрические сигналы, которые поступают в блок буферной памяти (ББП). В этот блок подается также информация по каждому инструменту с блока ввода коррекции (БВК).

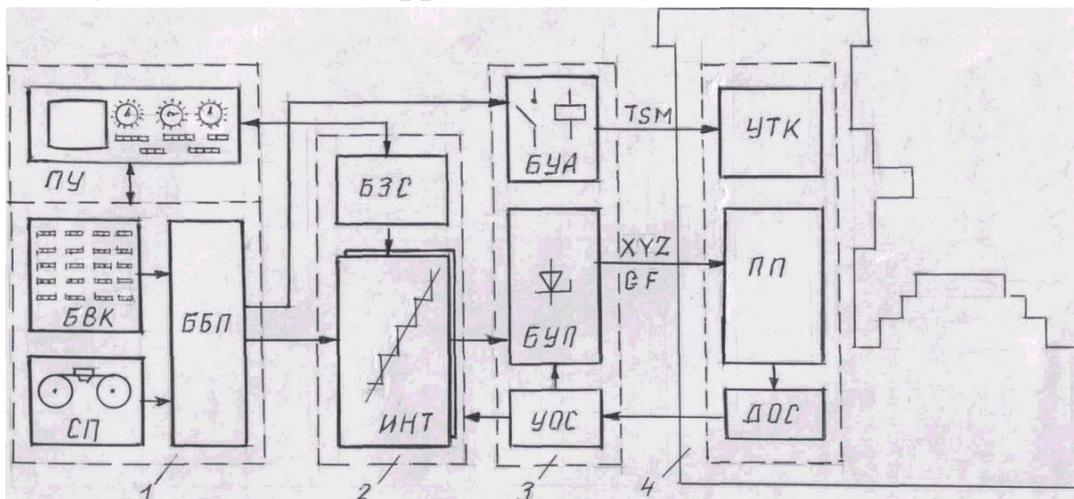


Рис. 10.20. Структурная схема системы ЧПУ станка: 1 – блоки ввода; 2 – блоки обработки; 3 – блоки вывода; 4 – станок с исполнительными устройствами; ПУ – панель управления; СП – считыватель перфолент; БВК – блок ввода коррекции; ББП – блок буферной памяти; БЗС – блок задания скорости; ИНТ – интерполяторы; БУП – блок управления приводом; БУА – блок управления электроавтоматикой; ПП – привод подачи; УТК – устройства технологических команд; ДОС – датчики обратной связи; УОС – устройство обратной связи; X,Y,Z,G,F – команды перемещений; T,M,S – технологические команды

В блоке буферной памяти для каждого элемента информации, записанной на перфоленте под соответствующим адресом, имеются элементы памяти. Наличие буферной памяти позволяет иметь информацию, полученную с нескольких кадров программы, что обеспечивает непрерывность работы системы и исключает задержки в работе привода.

Запуск системы ЧПУ и управление ее работой осуществляется с панели управления (ПУ), на которой расположена необходимая клавиатура и индикация. Блоки СП, БВК, ББП и ПУ составляют группу 1 блоков ввода и хранения информации. Их основная задача ввести, расшиф-

ровать, подготовить и хранить информацию, необходимую для отработки программы. Отработку программы осуществляют блоки группы 2, куда входит интерполятор (ИНТ) и блок задания скорости (БЗС).

Интерполятор является одним из основных узлов УЧПУ. Все остальные блоки обслуживают его – подготовливают для него информацию, задают скорость его работы, превращают выдаваемые им импульсы в электрические сигналы управления приводами подач.

Сущность работы интерполятора заключается в преобразовании вводимых в него чисел в определенное число импульсов, которые распределяются по соответствующим управляемым координатам. Число этих импульсов по каждой из координат равно величине числа, вводимого в интерполятор по соответствующему адресу (X, Y, Z). Если скорость подачи в данном кадре не меняется, то выходные импульсы интерполятора (при линейной интерполяции) должны располагаться равномерно во времени по каждой из координат.

Каждый импульс, выходящий из интерполятора, определяет перемещение рабочего органа станка, осуществляемое посредством привода по соответствующей координате, на одну *дискрету* – величину перемещения на один импульс.

В зависимости от сложности система может иметь линейный, круговой и сплайновый интерполяторы. Первый может производить лишь линейную интерполяцию, при которой воспроизводится прямая линия. Второй осуществляет круговую интерполяцию, при которой ступенчатая траектория, построенная с помощью импульсов, вырабатываемых интерполятором, располагается вдоль дуги окружности заданного в программе радиуса. Сплайновый интерполятор обеспечивает создание кривой заданной сплайном.

Блок задания скорости (БЗС) регулирует скорость работы интерполятора в соответствии с заданной скоростью подачи. Кроме того, БЗС автоматически поддерживает постоянство скорости подачи при любом направлении движения, а также осуществляет автоматический разгон и торможение в пределах одного кадра в соответствии с командами, заложенными в управляющей программе. БЗС генерирует частоту, подаваемую на вход интерполятора.

Таким образом на выходе интерполятора выдаются импульсы управления по каждой из координат X, Y, Z в соответствии с запрограммированной величиной и скоростью перемещения. Эти импульсы подают-

ся в блок управления приводом (БУП), который преобразует импульсы, поступающие от интерполятора, в электрические сигналы, воздействующие на приводы подач (ПП) для перемещения рабочего органа станка на соответствующее число дискрет.

Точность перемещения рабочих органов станка контролируют датчики обратной связи (ДОС), информация от которых через устройство обратной связи (УОС) поступает в блок отработки программы и в ИНТ, где происходит сравнение фактических перемещений с заданными и внесение соответствующей коррекции.

В группу 3 блоков вывода входит также блок управления электроавтоматикой (БУА), который принимает от ББП задаваемые в программе под адресами (Т, S, М) технологические команды, расшифровывает их и передает на выполнение в соответствующие устройства технологических команд (УТК) станка. В результате выполнения этих команд происходит цикловое управление станком, при котором осуществляется замена инструмента, включение и выключение шпинделя, задание требуемых оборотов шпинделю, включение и выключение СОЖ.

Панель управления (ПУ) с расположенными на ней органами управления и индикации служит для управления работой УЧПУ. С помощью этих органов оператор включает и выключает УЧПУ, пускает и останавливает программы, регулирует скорость подачи, вводит величину коррекции диаметра фрезы. С помощью ПУ устанавливают различные наладочные режимы, например покадровую (с перерывом до нажатия кнопки «Пуск программы») отработку управляющей программы, ручной ввод величин перемещений по любой из осей (преднабор), а также ручное управление приводами станка.

При настройке станка оператор подает команды вручную с панели управления (ПУ) и осуществляет контроль за покадровой отработкой программы с помощью расположенного на панели блока цифровой индикации (БЦИ) или дисплея.

При этом БЦИ сравнивает заданные от программы и действительные (индицируемые) величины абсолютных координат положения инструмента, выделяет приращения по каждой из координат. БЦИ информирует рабочего о положении инструмента относительно детали, помогает осуществлять различные наладочные операции. На ПУ индицируются также номер обрабатываемого кадра, номер задаваемого программой инструмента и положение инструмента относительно детали.

Блоки ввода 1 и блоки 2 обработки программы конструктивно располагают в стойке ЧПУ, а блоки вывода 3 обычно располагают в шкафу электроавтоматики.

Микропроцессорные системы числового программного управления

Рассмотренные выше системы числового программного управления типа NC имеют устройство *УЧПУ аппаратного* типа. Алгоритмы работы таких УЧПУ реализуются схемным путем и не могут быть изменены после изготовления устройства. Аппаратные УЧПУ с постоянной структурой относятся в основном к системам первых поколений. Они совершенствуются в части схемно-конструкторского исполнения и применения новой элементной базы, что обеспечивает расширение их технологических возможностей, упрощение программирования и эксплуатации.

В результате развития компьютерной техники созданы *программируемые УЧПУ* типа CNC (Computerized Numerical Control). Они представляют собой системы с переменной структурой, алгоритмы работы которых реализуются с помощью программ, вводимых в ее память, и при этом они могут быть изменены и после ее изготовления.

Программируемые УЧПУ с переменной структурой относятся к системам нового поколения, структурное построение которых соответствует управляющей ЭВМ. Программируемые УЧПУ структурно включают одну или несколько микроЭВМ с микропроцессором, обеспечивающим быстрое выполнение логических и арифметических операций. В соответствии с этим такие системы называют также микропроцессорными системами ЧПУ. В этих системах алгоритмы обработки и их реализация могут быть оперативно изменены. Первостепенное значение приобретает расширение функций УЧПУ, возможность хранения и редактирования программ.

Наличие значительного объема электронной памяти позволяет хранить в системе управляющие программы для обработки группы различных деталей. Такие системы называют также свободно программируемыми системами ЧПУ, на которых представляется возможным задание и корректирование УП с клавиатуры панели управления на основе данных чертежа обрабатываемой детали. Таким образом микропроцессорная реализация УЧПУ обеспечивает принципиально новое дальнейшее расширение технологической гибкости числового программного управления станками.

Структурная схема микропроцессорной системы ЧПУ в общем виде представлена на рис. 10.21. Компонентами микропроцессорной СЧПУ являются: мини-ЭВМ, включающая блок памяти 2 и процессор 3; пульт 4 управления системой с модулем 5 считывания и вывода управляющей программы; модуль 6 логических элементов управления и согласования координатных приводов; модуль 7 тиристорного управления следящими приводами; привод 8 движения по управляемым координатам; измерительная система 9 обратной связи и диагностики состояния оборудования.

Использование в системе компьютеров современной концепции с обширной внутренней памятью позволяет записывать и продолжительное время хранить требуемый набор управляющих программ, необходимое программно-математическое обеспечение (ПМО), а также данные по оборудованию.

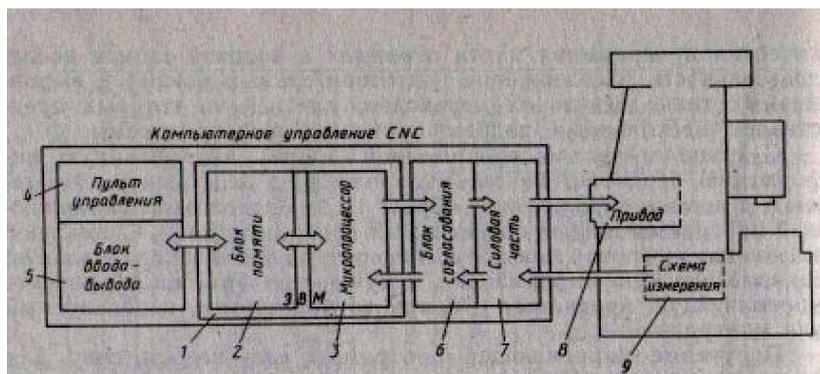


Рис. 10.21. Структурная схема микропроцессорной системы ЧПУ

Пульт управления обеспечивает широкие сервисные возможности при работе системы в различных режимах, в том числе ручной ввод и редактирование программы с использованием графического дисплея и средств индикации, диалоговое общение с системой, а также расширенную индикацию при многофункциональной системе контроля и диагностики состояния оборудования.

Модуль 5 ввода и вывода осуществляет также подключение периферийных устройств на этапе отладки эксплуатации оборудования для считывания и передачи информации с различных программносителей, а также для присоединения внешнего запоминающего устройства (ВЗУ), обеспечивающего дополнительное наращивание памяти ЭВМ.

С помощью пульта можно просмотреть по кадрам на дисплее или на устройствах индикации всю программу или ее часть и в случае необходимости отредактировать, то есть внести в отдельные кадры изменения и коррекцию. При этом оператор имеет возможность работать с архивом программ, расположенных как во внутренней, так и во внешней памяти, а также просматривать и задавать параметры оборудования.

Задание параметров оборудования и использование их в работе позволяет компенсировать зазоры в кинематических передачах, определить ограничения рабочей зоны и режимов обработки, учесть динамику привода на формирование требуемых переходных процессов при разгоне и торможении.

Модуль 6 логических элементов управления и согласования координатных приводов выполняет функции управляющего контролера станочной автоматики и согласования функций. Он может быть реализован как контролер с постоянно заданной системой логических связей или как программируемый микропроцессор, доступ к которому осуществляется от пульта управления. Все это позволяет формировать как типовые, так и нестандартные циклы обработки применительно к решению различных технологических задач, а также программировать от пульта связи в работе узлов станка.

Новым поколением систем числового управления являются системы ЧПУ типа PCNC (Personal Computer Numerical Control) – персональные компьютерные системы ЧПУ с открытой модульной архитектурой. В системах ЧПУ нового поколения в качестве системной платформы, представляющей ядро системы ЧПУ, используют персональный компьютер (PC). Диаграмма, представленная на рис. 10.22, показывает

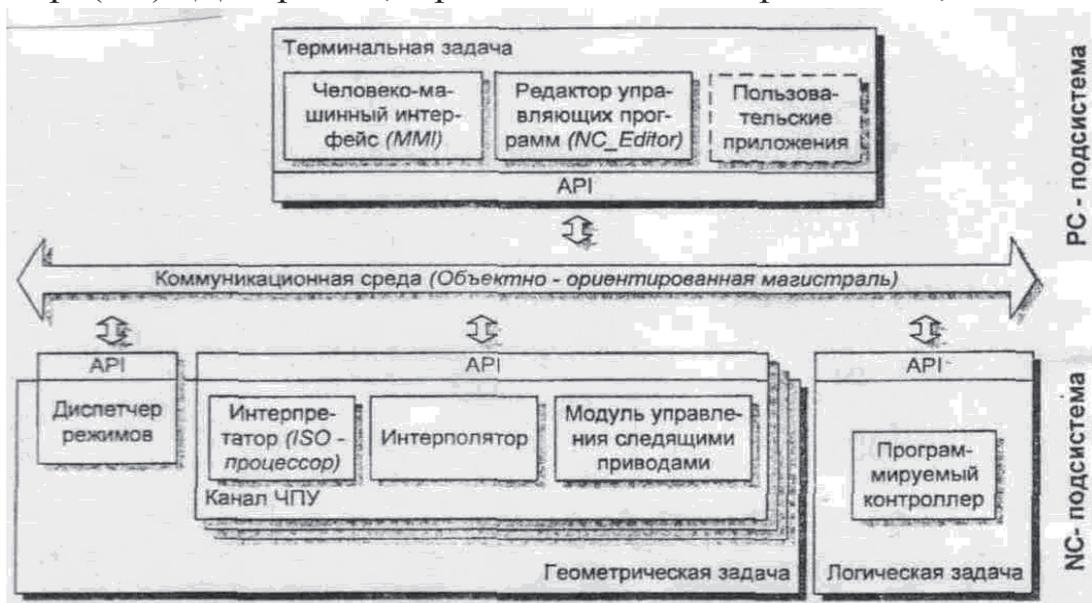


Рис. 10.22. Диаграмма обмена данными между модулями системы PCNC и ее ядром

информационные связи – обмен данными, который имеет место между модулями системы и ее ядром [23]. При этом, как видно из диаграммы, стрелки, моделирующие передачу потока данных, имеют как одно-, так и двустороннее направление.

Автоматизация рабочего цикла изготовления деталей на станках

Автоматическое изготовление деталей на станках в серийном или массовом производствах означает автоматическое выполнение основных и вспомогательных переходов, определяющих замкнутый цикл работы станка. Основные технологические переходы определяют непосредственно процесс резания, то есть процесс формообразования изготавливаемых деталей. Вспомогательные переходы включают работы по загрузке и выгрузке заготовок, замене режущего инструмента, выполнение контроля и управления циклом работы станка. На автоматических линиях и станках-автоматах при массовом изготовлении одной детали с постоянным комплектом режущего инструмента работа выполняется по неизменному жесткому циклу. При этом автоматизация основных и вспомогательных переходов осуществляется на базе применения элементов путевой автоматики и командоконтролеров.

В условиях единичного, мелко- и среднесерийного производств автоматизация рабочего цикла означает применение гибкой автоматизации при выполнении всех основных и вспомогательных переходов по изготовлению различных деталей. Решение этих задач обеспечивается путем применения станков с ЧПУ, многоцелевых станочных модулей, используемых в составе ГПС и специальных систем, обеспечивающих реализацию гибкой безлюдной технологии. В состав таких систем входят: система автоматической установки и съема заготовок и спутников; система автоматической замены режущего инструмента; система автоматического управления режимами резания с учетом состояния элементов технологической системы и характера процесса резания; система автоматического контроля на рабочем месте; транспортно-складская система; система технической диагностики состояния оборудования; система автоматического управления оборудованием, реализуемая на основе применения ЭВМ.

Автоматизация транспортирования, установки и съема различных корпусных деталей, изготавливаемых на многоцелевых станках, входящих в состав ГПС, осуществляется благодаря применению единых спутников. Наличие у спутников одинакового комплекта основных баз обеспечивает точную автоматическую ориентацию закрепленных на них заготовок на различном технологическом оборудовании, применяемом в составе автоматизированного участка.

На рабочих поверхностях спутников предусматривают сетку пазов

(рис. 10.23, *а*) или сетку точных базовых и резьбовых отверстий (рис. 10.23, *б*). Это позволяет устанавливать и закреплять на спутнике разнообразие по форме заготовки, имеющие различные комплекты технологических баз.

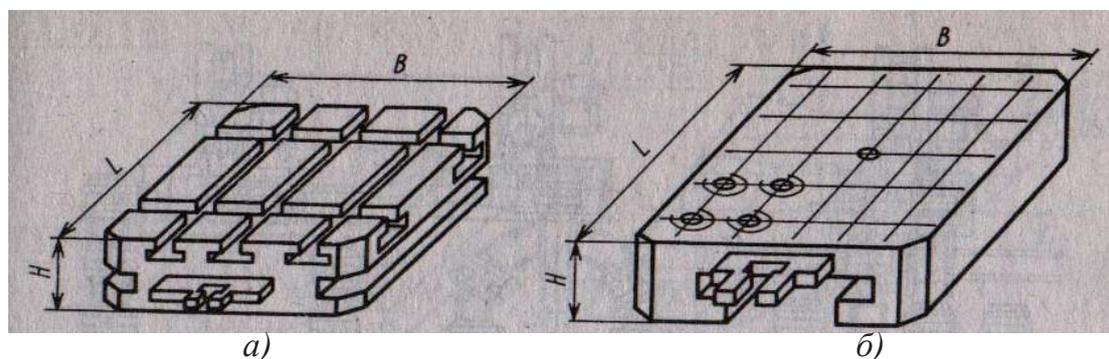


Рис. 10.23. Конструктивное исполнение рабочей поверхности спутников: *а* – с системой т-образных пазов; *б* – с сеткой резьбовых отверстий

Для точной установки и закрепления деталей на спутниках используют универсальную технологическую оснастку (подкладные плиты, планки, прихваты, винтовые упоры, угольники и т.д.). Такая оснастка обеспечивает технологическую гибкость, что означает многократность ее использования при установке на едином спутнике различных по конструкции и размерам корпусных деталей. В условиях серийного производства на спутники устанавливают приспособления из элементов УСП, а также специальные приспособления, изготавливаемые для определенных деталей [7].

Для обеспечения автоматической работы станочного модуля в течение полутора-двух смен перед станком устанавливают многоместные загрузочные устройства (накопители) для спутников (рис. 10.24). Для передачи спутников на станок из позиций неподвижного накопителя применяют схему с использованием двухпозиционного перегружателя (каретки-оператора) (рис. 10.24, *а*). Загрузочное устройство карусельного типа (рис. 10.24, *б*) осуществляет передачу и прием спутников через одну позицию, расположенную перед станком. Загрузочное устройство с подвижными позициями (рис. 10.24, *в*) обеспечивает передачу и прием спутников с двух различных позиций, расположенных вдоль оси.

Установка на спутниках различных деталей предусматривает наличие системы автоматической идентификации (распознавания) спутников. С этой целью на спутники устанавливают кодовые гребенки или другие кодовые элементы, по которым датчик на исходной позиции

определяет наличие соответствующего спутника с определенной заготовкой и дает команду на вызов требуемой управляющей программы и подготовку необходимого инструмента. В ГПС накопители для спутников связаны между собой гибкой транспортной системой. Автоматическая тележка-оператор, управляемая от ЭВМ, обеспечивает передачу требуемой детали со спутником на другой модуль, склад, моечную или контрольно-измерительную машину (КИМ).

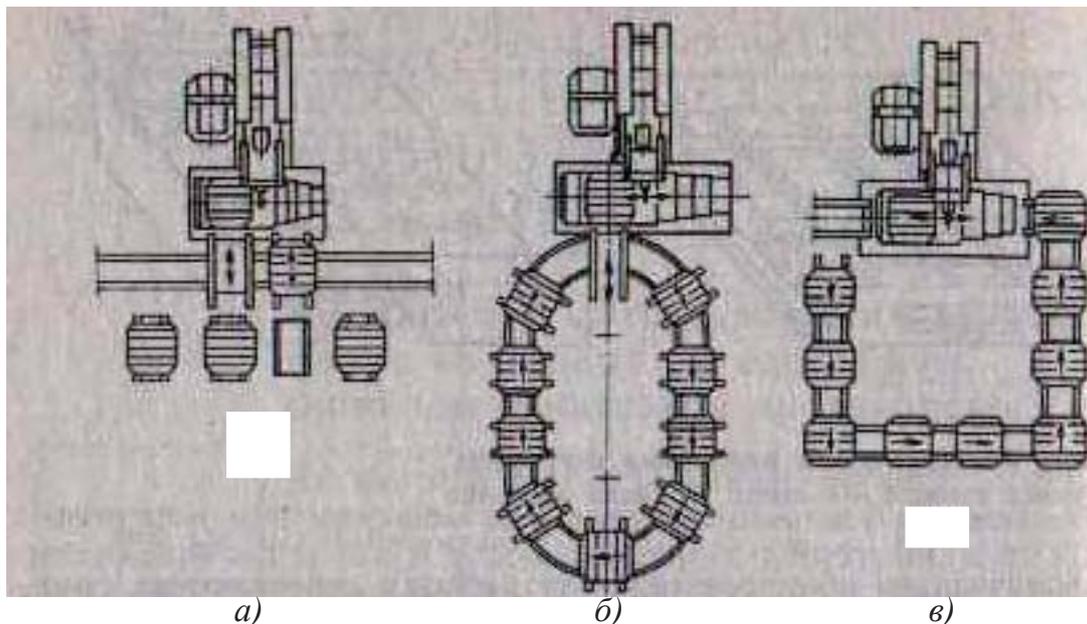


Рис. 10.24. Многопозиционные устройства для хранения и передачи спутников на многоцелевые станки

В условиях крупносерийного и массового производств при изготовлении корпусных деталей на автоматических линиях из агрегатных станков с постоянным тактом выпуска также применяют спутники. Однако наличие жесткой транспортной системы, обеспечивающей неизменную последовательность прохождения станков, работающих по жесткому циклу, исключает ту технологическую гибкость, которая имеет место на ГПС [8].

Необходимость обеспечения стабильности и точности установки заготовок на станках обуславливает высокие требования к точности изготовления спутников, и в частности требования по высоте спутников в пределах 0,01 – 0,02 мм, требования к точности размеров и относительного расположения базирующих поверхностей.

Автоматическая замена инструмента на многоцелевых станках обеспечивается благодаря применению стандартизованных инструментальных оправок. Они имеют общие основные базы для установки оправок в шпиндель или в револьверную головку станка, а также

одинаковые исполнительные поверхности для закрепления различного режущего инструмента. На многоцелевых станках для обработки корпусных деталей инструментальные оправки имеют конические хвостовики, и их базирование осуществляется по схеме с использованием двойной направляющей базы.

Режущий инструмент хранится в инструментальных магазинах. Автоматический выбор требуемого инструмента, устанавливаемого в шпиндель, осуществляется благодаря его кодированию. Возможно кодирование инструментальных оправок и кодирование позиций инструментального магазина. Оправки кодируют с помощью различных сочетаний кодовых кулачков или набора кодовых колец. При вращении инструментального магазина датчик, расположенный на позиции уста-

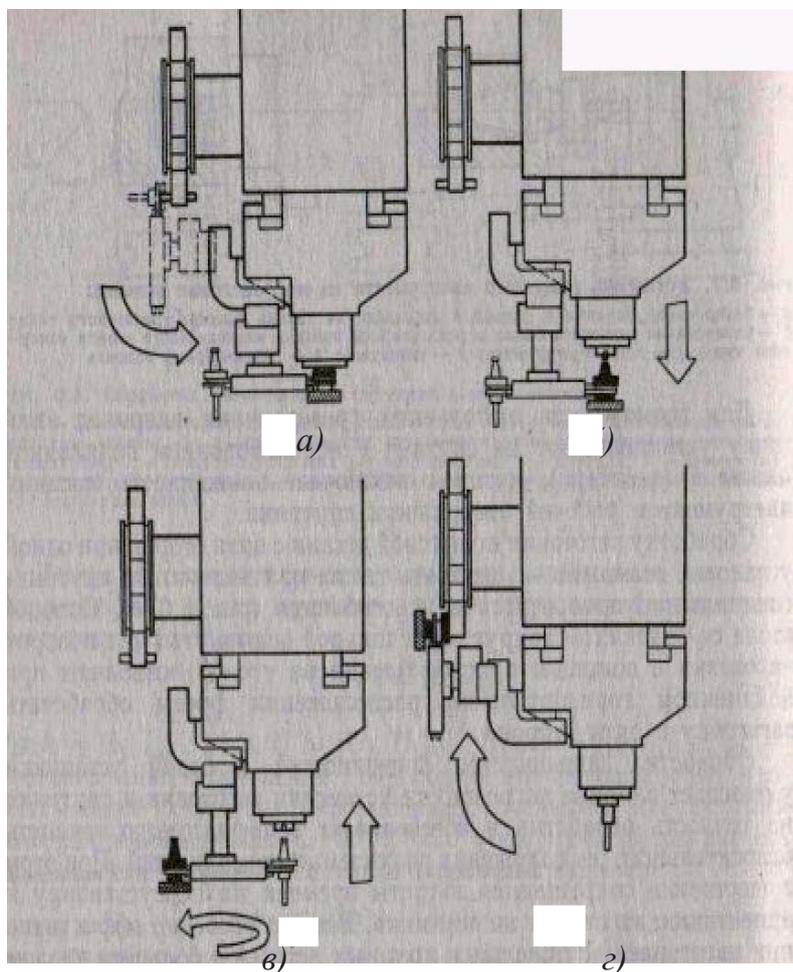


Рис. 10.25. Схема автоматической замены режущего инструмента на многоцелевом станке

ложенного в шпинделе. Для вывода инструмента из шпинделя манипулятор перемещается вдоль оси (рис. 10.25, б), затем поворачивается на угол 180° и обратным перемещением вдоль оси устанавливает в шпин-

новки и съема, фиксирует прохождение требуемого инструмента и дает команду на останов магазина.

Передача инструмента из магазина в шпиндель станка осуществляется манипулятором (рис. 10.25), оснащенным двумя схватами. Манипулятор захватывает инструмент, необходимый для последующего технологического перехода, и перемещается в исходную позицию (рис. 10,25, а). При этом второй схват находится в готовности съема инструмента, распо-

дель новый инструмент (рис. 10.25, б). Далее отработавший инструмент устанавливается в инструментальный магазин (рис. 10.25, з). Таким образом, часть вспомогательных переходов по замене режущего инструмента выполняется параллельно с основным временем резания. Продолжительность автоматической замены режущего инструмента составляет 3-5 с.

На рис. 10.26 в качестве примера комплексной автоматизации цикла изготовления деталей представлена гибкая производственная система для токарной обработки деталей типа шестерен и фланцев. В систему входят: двухшпиндельный токарный автомат 13 патронного типа с ЧПУ; два независимых манипулятора 1 и 4 портального исполнения, штабелер 10, обеспечивающий манипулирование с налетами для инструмента и изделий; лазерное устройство 2 для маркировки готовых деталей. Загрузка заготовок и съем готовых деталей со станка осуществляется портальным манипулятором 1. Манипулятор перемещается по рельсам в горизонтальном направлении от рабочей зоны станка 13 до промежуточных позиций накопителя 11. Портальный манипулятор 1 имеет три захватных устройства. Крайние зажимные устройства (левое и правое), выполненные в виде патронов, соответственно захватывают и устанавливают заготовки и готовые детали. Зажимное устройство, расположенное между ними, обеспечивает переустановку заготовки из одного патрона в другой. Схват этого устройства выполнен в виде призмы, которая зажимает заготовку и в процессе перемещения от одного шпинделя к другому поворачивает ее на 180° .

Промежуточный накопитель 11 имеет две позиции – одну для заготовки, вторую для готовой детали. Подача на накопитель заготовок и съем готовых деталей осуществляются с помощью портального манипулятора 4, на каретке которого расположены два загрузчика 5 и 6. Передачу заготовок и деталей с палеты 7 на промежуточный накопитель 11 осуществляет загрузчик 6. Загрузчик 5, имеющий два схвата, обеспечивает своевременную автоматическую замену режущего инструмента в двух восьмипозиционных револьверных головках токарного автомата. Один схват выбирает на инструментальной палете 9, имеющей 32 позиции, соответствующий новый инструмент, а второй снимает изношенный инструмент с револьверной головки. В процессе работы станка осуществляется периодическое измерение размерного износа режущего инструмента. С этой целью перед каждой револьверной головкой имеются измерительные позиции 12, защищенные от попадания стружки и эмульсии. К этим позициям подводится инструмент, и путем касания режущих кромок щупа определяется

размерный износ в направлении осей X и Z . Палеты 7 – 9, используемые для размещения заготовок, деталей и инструмента, являются достаточно

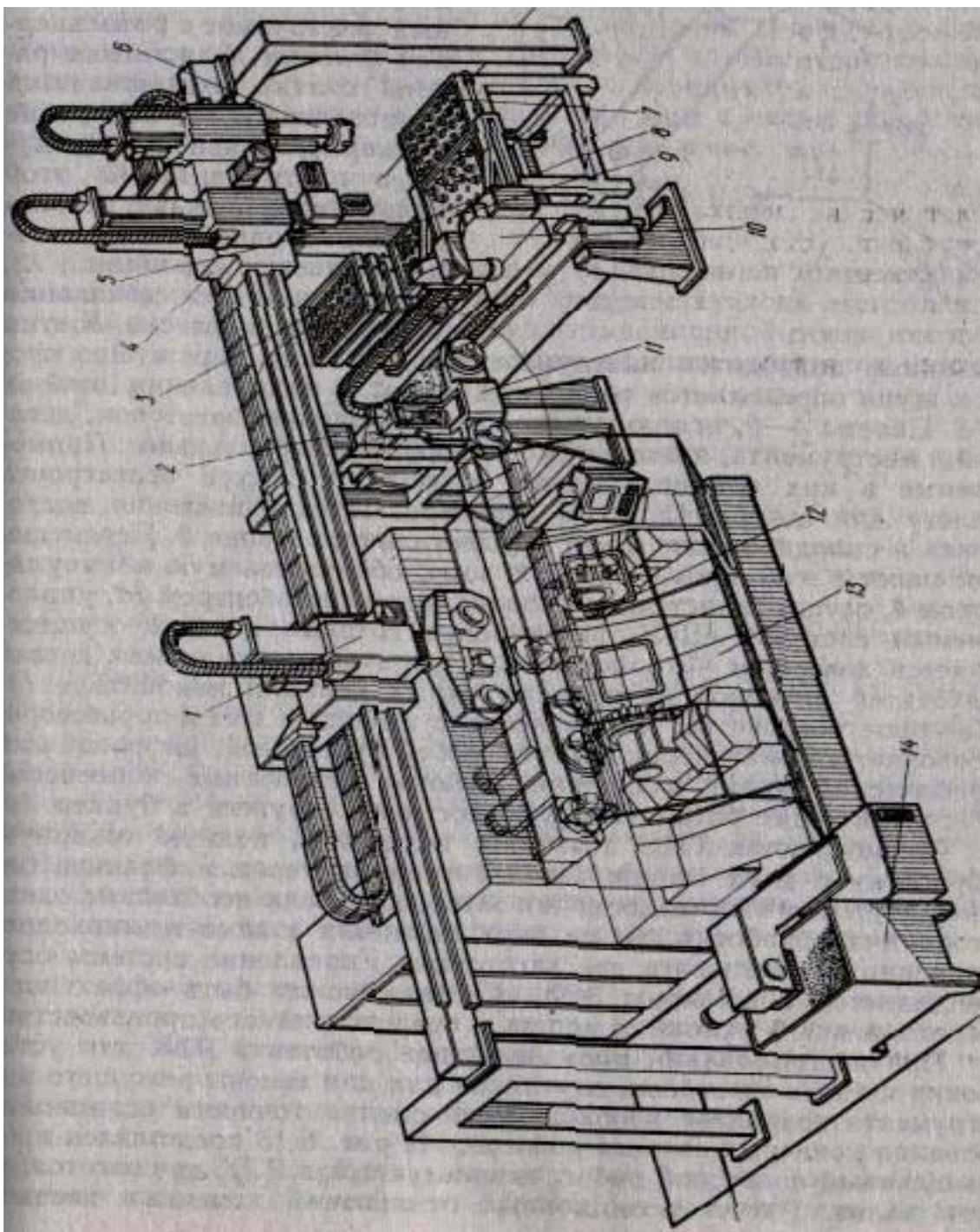


Рис. 10.26. Гибкая производственная система для изготовления деталей тел вращения

универсальными. Применяемые в них вставные штыри позволяют быстро перестроить палету для установки изделий другого диаметра. Предварительная подготовка и складирование палет осуществляется в зоне 3. Пере-

мещение палет с этой зоны в рабочую зону, обслуживаемую манипулятором 4, осуществляется двухкоординатным штабелером 10, управляемым системой ЧПУ. Маркировка готовых деталей осуществляется лазерным устройством 2. При этом маркируемая деталь находится на одной из промежуточных позиций накопителя И. Лазерное устройство, управляемое с помощью микропроцессора, позволяет автоматически нанести любой буквенный, цифровой или графический знак; в системе имеются встроенные конвейеры, обеспечивающие автоматическую доставку стружки в бункер 14. Рассмотренная ГПС позволяет выполнять полную токарную обработку с двух сторон деталей типа шестерен и фланцев без промежуточного складирования заготовок. Если необходима односторонняя обработка, то на двух позициях станка можно одновременно обрабатывать две заготовки. Управление системы осуществляется с помощью ЭВМ. Рассмотренная система может быть эффективно использована в условиях как крупносерийного, так и мелко- и среднесерийного производств.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите типы машиностроительных производств.
2. Как рассчитать коэффициент закрепления операции и что он характеризует?
3. В чем заключается различие поточной и непоточной форм организации производства?
4. Объясните понятие «такт выпуска». Как его можно рассчитать?
5. При какой форме организации производства обеспечивается соблюдение постоянства такта выпуска?
6. Какие преимущества и недостатки имеет схема расстановки оборудования по группам станков?
7. В чем заключается сущность расстановки оборудования по ходу технологического процесса?
8. Как рассчитать количество станков, необходимых для выполнения определенной операции?
9. Как рассчитать коэффициент загрузки станка?
10. По какой формуле можно рассчитать требуемое число производственных рабочих?
11. Объясните понятие «приведенная программа» выпуска.
12. В чем заключается сущность типизации технологических процессов?
13. Что является основой выявления типовой детали из группы деталей определенного класса?

14. Каких преимуществ достигают при внедрении метода групповой обработки деталей?
15. С какой целью на станках применяют групповую технологическую наладку?
16. Что означает понятие «технологичность конструкции детали и изделия»?
17. Назовите основные параметры, которые оказывают непосредственное влияние на технологичность изделия.
18. В чем заключается сущность унификации изделий?
19. Приведите примеры унифицированных деталей и узлов.
20. Какие технико-экономические преимущества обеспечивают унификация и стандартизация в машиностроении?
21. С какой целью выполняют сертификацию?
22. Что следует понимать под системой управления качеством, создаваемой на производстве?
23. Какие преимущества дают механизация и автоматизация производства?
24. В чем заключается отличие автоматизации от механизации?
25. Как оценивается уровень автоматизации станка?
26. Какие функции выполняют механические системы кулачкового управления?
27. Что следует понимать под циклом работы оборудования?
28. В чем заключается сущность циклового программного управления (ЦПУ) оборудованием?
29. Какие задачи управления оборудованием решают программируемые логические контроллеры (ПЛК)?
30. Объясните сущность числового программного управления (ЧПУ).
31. Какие программноносители применяют на станках с ЧПУ?
32. Какие задачи автоматизации решают гибкие производственные системы (ГПС)?
33. С какой целью на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах применяют спутники?
34. С какой целью на многоцелевых станках осуществляется кодирование режущего инструмента?
35. Какую технологическую оснастку для закрепления заготовок применяют на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах?
36. Какие функции выполняет в ГПС гибкая транспортная система?
37. Какие преимущества имеют программируемые УЧПУ типа CNC?

Глава 11. СБОРКА МАШИН

Технологический процесс сборки машин представляет собой совокупность сборочных операций и ряда переходов, которые заключаются в соединении отдельных деталей и сборочных единиц по контактируемым базовым поверхностям и получении собираемого изделия. Для достижения требуемого качества изделия при сборке используют все пять методов достижения требуемой точности. В соответствии с этим в процессе сборки выполняют переходы, связанные с подбором деталей, регулированием, пригонкой, фиксацией достигнутого относительного положения деталей и сборочных единиц. Технологический процесс сборки включает также переходы, связанные с контролем точности относительного положения и движения деталей, сборочных единиц, а также проверку правильности работы различных устройств и механизмов.

В процессе сборки выполняют также переходы, связанные с очисткой и мойкой отдельных деталей, а также переходы по дополнительной отделке, окраске и консервации отдельных деталей, сборочных единиц и машины в целом.

11.1. Деление машин на сборочные единицы. Разработка последовательности сборки изделий

Создания машины (изделия) достигают путем последовательного соединения комплектующих деталей, которые в процессе сборки образуют сборочные единицы.

Различные по конструкции изделия машиностроения в общем случае структурно образуют следующие по возрастанию сложности сборочные единицы: 1 – детали; 2 – комплекты; 3 – подузлы; 4 – узлы; 5 – изделие.

Основой каждой из сборочных единиц является базирующая деталь, функция которой заключается не только в соединении отдельных деталей, но и в придании этим деталям требуемой точности относительного положения.

Деталь является элементарной сборочной единицей. *Комплект* представляет собой сборочную единицу, в состав которой входит одна

базирующая деталь и хотя бы одна или несколько отдельных присоединяемых деталей. *Подузлом* называют сборочную единицу, состоящую из базирующей детали, на которую монтируют один или несколько комплектов, а также одну или несколько отдельных присоединяемых деталей. Узел представляет собой сборочную единицу, в состав которой входит базирующая деталь, на которую устанавливают один или несколько подузлов, а также один или несколько комплектов и одиночных присоединяемых деталей.

В зависимости от сложности изделия узлы дополнительно могут быть разделены на узлы *первого, второго или третьего* порядка сложности. Узел *второго порядка* является более сложной (нежели узел первого порядка) сборочной единицей, на базирующей детали которой должны быть смонтированы один или несколько узлов первого порядка, подузлы, комплекты и отдельные детали. В сложных машинах и агрегатах приходится вводить деление и на узлы более высоких порядков.

Наиболее сложной последней сборочной единицей является *изделие* (машина), которая включает в себя все предшествующие более простые сборочные единицы, включая узлы высшего порядка. Таким образом в основу формирования каждой последующей сборочной единицы положено присоединение к ее базирующей детали предшествующих более простых сборочных единиц. Каждая последующая более сложная сборочная единица должна содержать не менее одной предшествующей сборочной единицы.

На рис. 11.1 для примера представлены сборочные единицы универсального токарного станка. Отдельными деталями являются винты, втулки, резцедержавка, ось, верхняя каретка суппорта. Резцедержавка, как базирующая деталь, после запрессовки в нее четырех втулок и установки винтов для крепления резцов образует комплект. В свою очередь, верхняя каретка суппорта после запрессовки в нее оси для поворота резцедержавки образует другой комплект. В результате установки резцедержавки на верхнюю каретку суппорта и присоединения отдельных деталей – винта, рукоятки – образуется подузел, базирующей деталью которого является верхняя каретка суппорта. Базирующей деталью узла первого порядка является продольная каретка 5, на которую последовательно установлены поперечная каретка 6, ходовой винт с маховиком 8 и подузел 9 верхней каретки суппорта. Узел второго порядка образуется в результате присоединения к узлу первого порядка сложности дополнительного узла 7 – фартука в сборе.

Базирующей деталью всего станка (машины) является станина 1, на которую монтируются также другие узлы и отдельные детали – передняя бабка 2 со шпинделем, задняя бабка 3, коробка подач 4 с ходовым винтом и ходовым валиком, кронштейн, корыто и др.

В соответствии с принятым делением машины на сборочные единицы различают общую сборку машины, сборку узлов, сборку подузлов, сборку комплектов. На общую сборку поступают все предварительно собранные сборочные единицы и отдельные комплектующие детали, которые с требуемой точностью монтируют на базирующую деталь машины – станину или раму. При сборке узлов (узловой сборке) на базирующую деталь узла, например в корпус, монтируют все комплекты и отдельные детали, входящие в данный узел. В процессе сборки комплектов (комплектной сборки) производят соединение всех деталей, образующих данный комплект, и фиксацию требуемой точности их относительного положения.

Для выявления последовательности сборки машины необходимо проанализировать ее конструкцию, определить состав входящих в машину сборочных единиц – узлов, подузлов, комплектов и отдельно входящих деталей. Необходимо выявить также базирующие детали у каждой сборочной единицы и базовые поверхно-

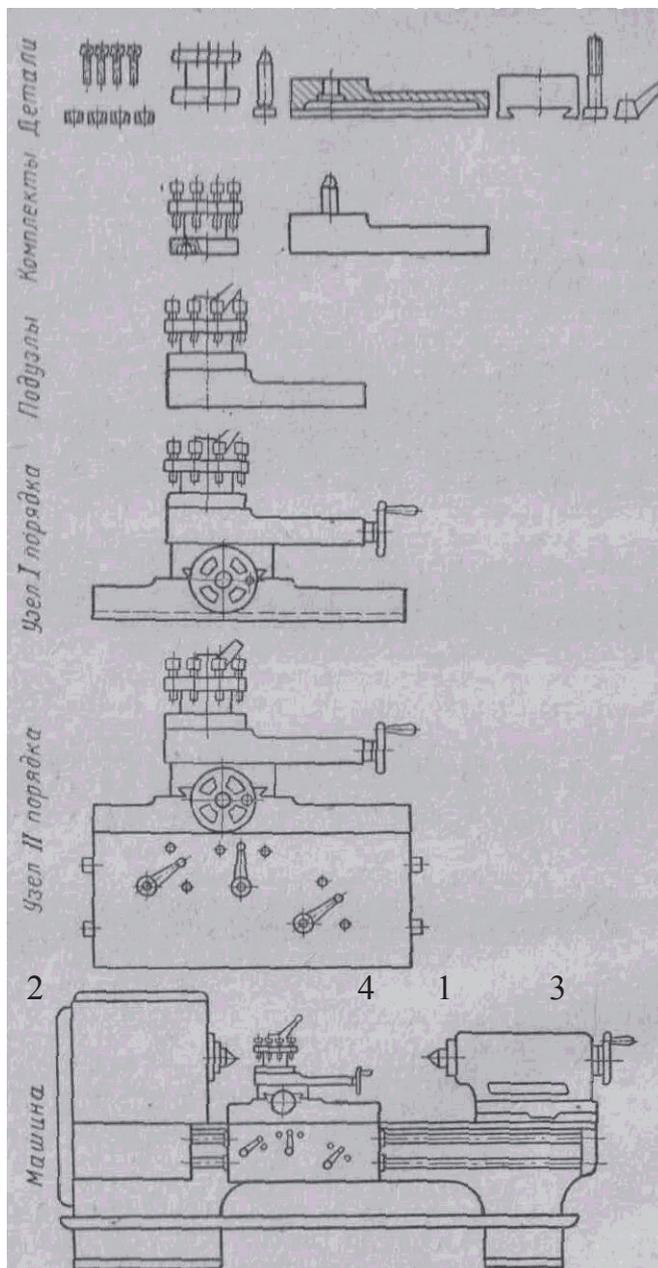


Рис. 11.1. Сборочные единицы универсального токарного станка

сти, образующие комплект основных баз этих деталей. Для выявления последовательности сборки необходимо также знать выбираемые методы достижения точности, которые обеспечивают достижение заданных технических требований на собираемое изделие.

Разнообразие конструкций изготавливаемых машин исключает возможность выдачи однозначных рекомендаций по разработке последовательности их сборки. Установление последовательности сборки машины, в первую очередь, зависит от особенности ее конструкции и заложенных в ней методов достижения точности.

Однако можно сформулировать основные общие положения, которые следует соблюдать при разработке последовательности сборки различных машин. Эти общие положения изложены ниже.

1. Вначале необходимо определить последовательность общей сборки машины, а затем последовательность сборки каждого из входящих в нее узлов, подузлов, комплектов и отдельных деталей.

2. Сборку любой сборочной единицы – комплекта, подузла, узла, изделия – следует начинать с установки ее базирующей детали. В соответствии с этим общую сборку машины начинают с установки станины, рамы или другого ее основания. Сборку узла или подузла начинают с установки корпуса, плиты, кронштейна или иной базирующей детали. Базирующие детали необходимо устанавливать в положении, удобном для выполнения требуемых сборочных переходов. С этой целью используют сборочные стенды или специальные опорные элементы, позволяющие правильно выставить базирующую деталь и повысить жесткость изделия в процессе сборки.

На установленную базирующую деталь последовательно устанавливают все сборочные единицы и детали.

3. В первую очередь собирают наиболее ответственные сборочные единицы, размеры деталей которых являются общими звеньями нескольких функционально важных размерных цепей собираемого изделия. Затем собирают другие, менее ответственные сборочные единицы и детали. Так, например, при общей сборке токарного станка (см. рис. 11.1) на станину вначале устанавливают переднюю бабку со шпинделем, затем продольную каретку с суппортом, через которые проходят общие звенья функционально важных размерных цепей.

4. Детали, размеры и относительные повороты которых участвуют в формировании параллельно связанных размерных цепей как общие звенья, следует монтировать в первую очередь.

5. Последовательность установки деталей при сборке должна быть такой, чтобы ранее смонтированные детали не мешали установке всех последующих деталей. Например, в начале на вал устанавливают шпонку, а затем зубчатое колесо, передающее крутящий момент. Подшипники на крайние опорные шейки вала монтируют в последнюю очередь, после установки на вал шпонок, зубчатых колес и промежуточных втулок. Крышки в корпусные детали устанавливают после монтажа в корпус предварительно собранных валов.

6. Детали, выполняющие роль компенсатора при достижении точности замыкающего звена, обычно устанавливают в последнюю очередь, после монтажа всех деталей данной размерной цепи.

7. В процессе сборки машины в отдельных случаях вынуждены предусматривать частичную разборку некоторых деталей. Однако необходимо стремиться к тому, чтобы технологические переходы, связанные с частичной разборкой, были минимальными.

8. Пригоночные работы, связанные со снятием металла и образованием стружки, необходимо выполнять вне собираемого объекта.

9. Разрабатываемая последовательность общей сборки машины и ее сборочных единиц должна соответствовать выбранному виду и форме организации производственного процесса изготовления изделий.

Намеченную последовательность сборки изделия обычно проверяют на реальной машине, после чего в технологию сборки могут быть внесены определенные поправки.

Разработанную последовательность сборки машины отображают графически в виде схемы сборки, которая является наглядным оперативным документом, используемым для написания техпроцесса сборки и для ознакомления с общей последовательностью сборки нового изделия. Схему сборки используют также для комплектования создаваемых сборочных единиц и организации подачи собираемых деталей на соответствующие рабочие места.

Рассмотрим построение схемы сборки на примере шестеренного насоса трактора (рис. 11.2) [30]. Схема сборки этого шестеренного насоса представлена на рис. 11.3.

Все сборочные единицы согласно категории их сложности располагают на четырех уровнях. На первом уровне, по горизонтали, в соответствии с последовательностью сборки располагают детали, каждая из которых обозначается своим номером, указанным на чертеже общей

сборки (см. рис. 11.2). Каждой комплектующей детали соответствует квадрат, в котором помимо порядкового номера детали может быть указано количество, поступающих на сборку деталей и их название. На

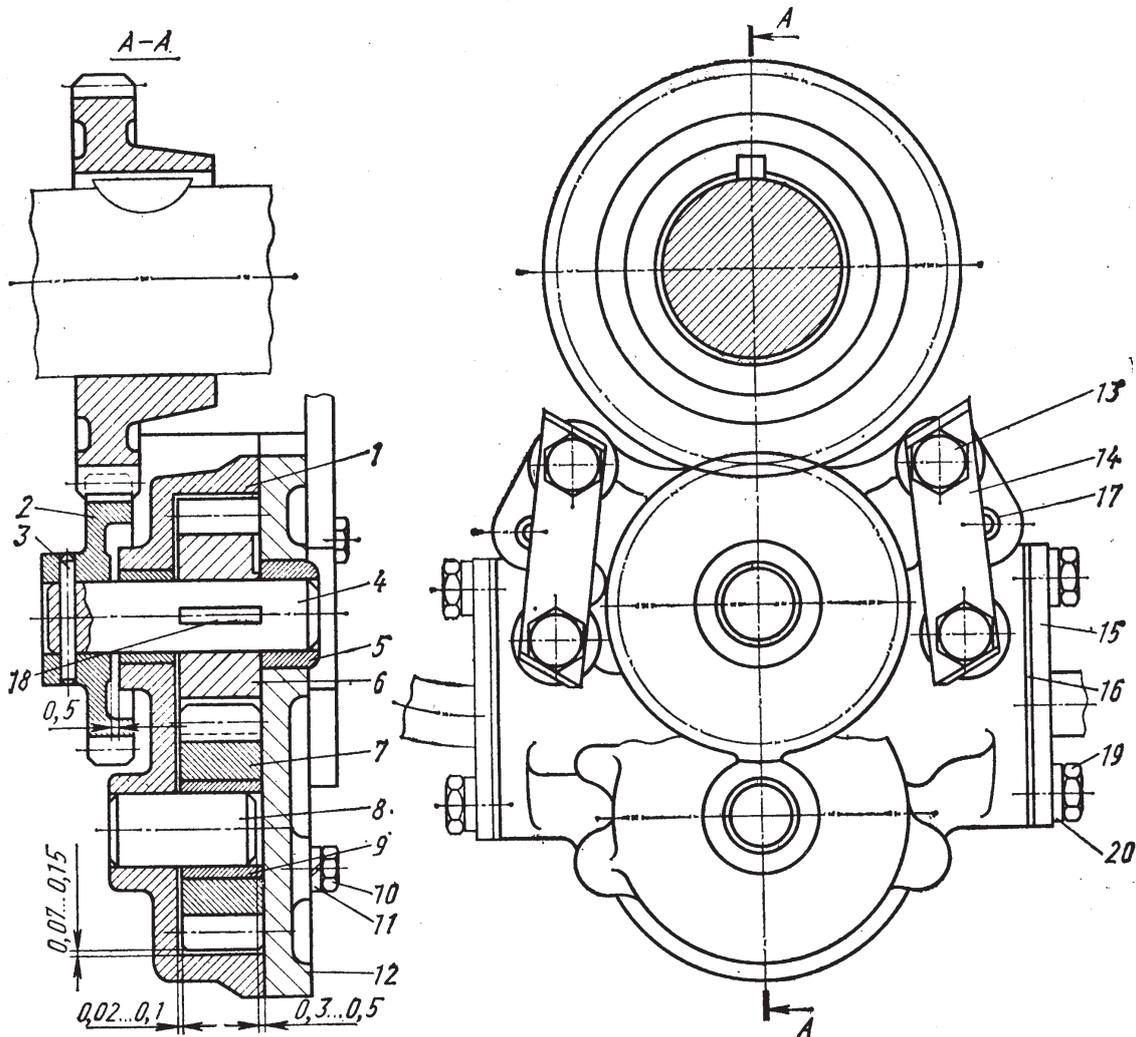


Рис. 11.2. Схема конструкции шестеренного насоса трактора: 1 – корпус, 2 – ведомое зубчатое колесо, 3 – штифт, 4 – валик, 5 – втулка, 6 – зубчатое колесо, 7 – шестерня, 8 – ось, 9 – втулка, 10 – винт, 11 – шайба, 12 – крышка, 13 – болт, 14 – стопорная пластина, 15 – труба приемника, 16 – прокладка, 17 – штифт, 18 – винт, 19 – шайба

втором уровне располагают комплекты, каждому из которых присваивают порядковый номер, соответствующий последовательности его сборки. На третьем и четвертом уровнях располагают соответственно подузлы и узлы под номерами, определяющими последовательность их сборки. При наличии в сложных конструкциях узлов первого, второго или третьего порядка сложности на схеме сборки предусматривают

большее число уровней, то есть увеличивают количество горизонтальных полос. На последнем уровне сложности отображается собираемое изделие (машина).

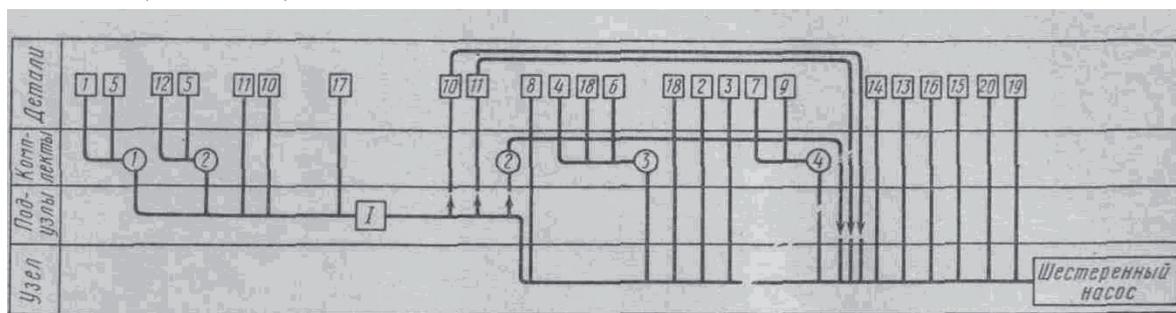


Рис. 11.3. Схема сборки шестеренного насоса

Формирование каждой сборочной единицы на схеме отображают, начиная с ее базирующей детали, которая вертикальной линией первой сносится на соответствующий ей уровень – комплекта, подузла, узла или изделия. Затем, аналогично, на этот уровень вертикальными линиями сносят все присоединяемые детали, входящие в данную сборочную единицу. Присоединяемые детали отображают на схеме непосредственно за базирующую деталью в соответствии с последовательностью их установки. В результате полученная сборочная единица отображается квадратом с определенным порядковым номером, например комплект 1, 2,...4.

Формирование более сложных сборочных единиц отображается на схеме аналогично, путем сноски вертикальными линиями полученных ранее сборочных единиц на соответствующий уровень подузла, узла или изделия. Так, например, на приведенной схеме (см. рис. 11.2) подузел 1 включает два комплекта 1, 2 и три одиночные детали под номерами 11,10,17.

Требуемая частичная разборка также отображается вертикальными линиями, которые показывают возврат отдельных деталей и сборочных единиц на предшествующий уровень меньшей сложности.

Согласно приведенной схеме сборки насоса (см. рис. 11.2) в корпус 1 и крышку 2 запрессовывают соответствующие втулки подшипников 5. В результате образуются комплекты 1 и 2. Затем крышку (комплект 2) устанавливают на корпус (комплект 1) и закрепляют ее с помощью винтов 10 при предварительной установке шайб 11. Положение крышки относительно корпуса фиксируют путем постановки двух контрольных штифтов 17. Полученный подузел 1 передают на станок для выполнения совместной чистовой расточки отверстий во втулочных подшипниках корпуса и крышки.

После расточки отверстий подузел 1 частично разбирают, снимают крепеж – винты 10, шайбы 11, – а крышка в сборе опять поднимается вверх до уровня комплекта 2. Все это наглядно отражено на схеме сборки.

В свою очередь, корпус (комплект 1) идет в узел как базирующая деталь насоса, в которую поочередно монтируют другие присоединяемые детали – валики, шестерни и пр. По окончании монтажа крышку (комплект 2) возвращают на корпус и закрепляют с помощью крепежа 11, 10. В заключении на корпус монтируют отдельные детали 14, 13, 16, 15, 11, 10. При построении схемы сборки необходимо внимательно контролировать отображение правильной последовательности монтажа деталей и сборочных единиц.

Для отображения последовательности соединения деталей и узлов машины может быть использован также и другой формат построения схемы сборки. Этот формат показан на рис. 11.4. на примере сборки подшипника скольжения. Согласно приведенной схеме сборка начинается с базовой детали, в данном случае с основания подшипника. Базовую деталь и собранное изделие соединяют прямой линией, к которой в требуемой последовательности подводят присоединяемые детали. Детали изделия отображают прямоугольниками с указанием названия детали, ее номера и количества. Подводимые с обеих сторон ветви показывают присоединение как одиночных деталей, так и отдельных сборочных единиц. Если подводимая ветвь соответствует сборочной единице, то она также должна начинаться с соответствующей базовой детали. Линия от базовой детали до собранного изделия может располагаться как по горизонтали, так и по вертикали, а стрелка, проводимая вдоль стержневой линии, показывает последовательность (направление) сборки изделия.

На основе схемы сборки разрабатывают основные технологические документы – маршрутную и операционную карты. Операционная карта на производстве имеет определенный формат, выбираемый в соответствии с единой системой технологической подготовки производства ЕСТПП. Один из вариантов операционной карты сборки приведен на рис. 11.5. В операционной карте подробно отражают содержание и последовательность выполнения технологического процесса сборки изделия, определяют применяемое оборудование, приспособления, инструмент и технологические режимы. В карте указывают также разряд работ и норму штучного времени на выполнение соответствующего перехода. Технология сборки пишется в повелительном наклонении, ко-

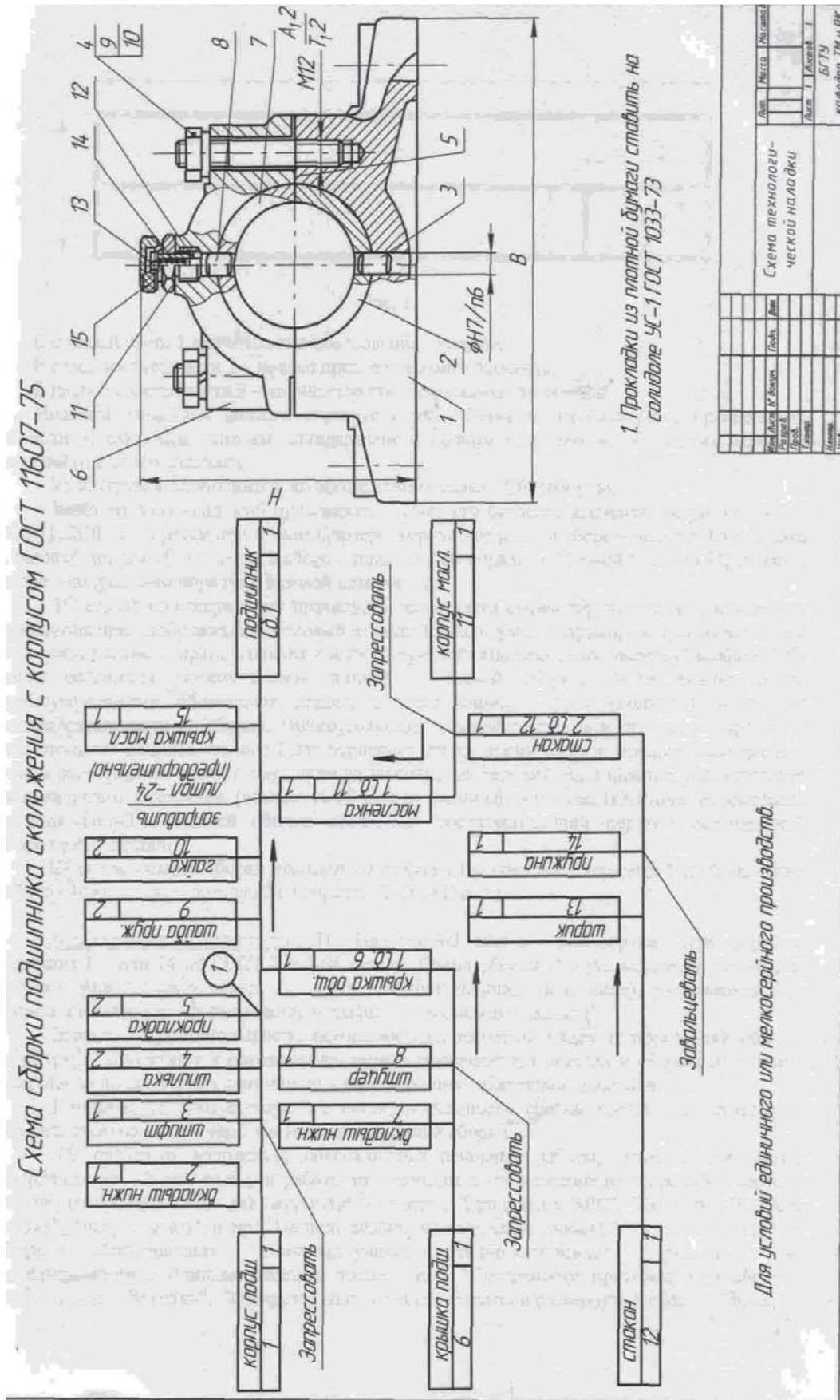


Рис. 11.4. Схема сборки подшипника скольжения

также выявить возможности сокращения цикла сборки, что достигается путем уменьшения продолжительности отдельных переходов и совмещения выполнения отдельных переходов во времени.

Организационные формы и виды производственного процесса сборки изделий

Определяющими факторами при выборе формы организации и вида процесса сборки машины являются число машин, подлежащих изготовлению в единицу времени и по неизменяемым чертежам, а также особенности конструкции машины, ее масса-габаритные характеристики. Возможные формы организации и виды производственного процесса сборки машины представлены на рис. 11.7.

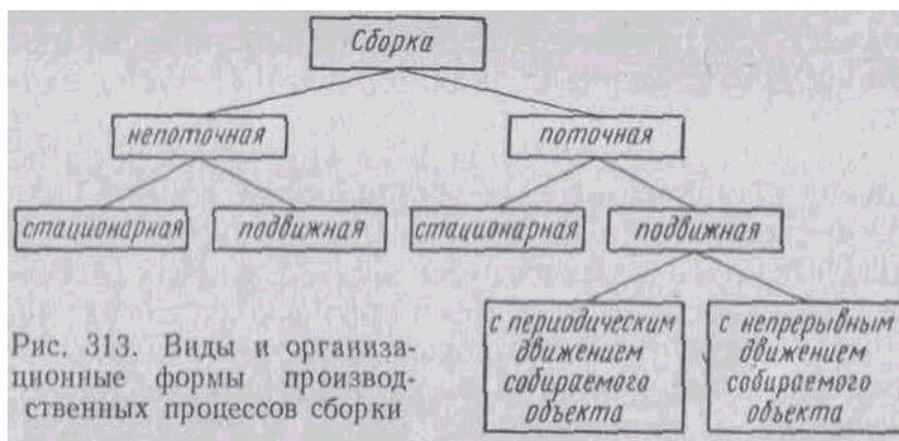


Рис. 313. Виды и организационные формы производственных процессов сборки

Рис. 11.7. Виды и организационные формы производственного процесса сборки

Целесообразность выбора той или иной организационной

формы вида и производственного процесса сборки должна быть обоснована технико-экономическими расчетами, в которых одновременно учитываются конструкторско-технологические и экономические факторы.

В случае, когда имеет место большой объем выпуска машин или других сборочных единиц, экономически целесообразной является поточная форма организации процесса сборки, для которой характерно соблюдение постоянства такта выпуска изделий. Эту форму организации применяют в крупносерийном и массовом производствах. Ее отличительной особенностью является постоянное или периодическое движение собираемого объекта или рабочих сборщиков по ходу выполнения процесса от одной рабочей позиции к другой.

Для организации поточной сборки рассчитывают такт выпуска изделия:

$$T = \frac{60 \cdot F \cdot \eta}{N}, \quad (11.1)$$

где F – годовой фонд времени в часах;

N – программа выпуска (штук в год);

η – коэффициент использования годового фонда времени.

С уменьшением объема выпуска машин поточная сборка становится экономически не целесообразной, поэтому следует переходить на непоточную форму организации процесса сборки, для которой не требуется соблюдения постоянства такта выпуска изделий. Непоточную форму организации техпроцесса сборки применяют в единичном и мелкосерийном производствах.

При двух различных формах организации производства сборка изделий может быть стационарной и подвижной.

В первом случае собираемый объект остается на одном рабочем месте, а во втором объект перемещается непрерывно или периодически от одной позиции к другой в продолжение всего процесса сборки.

Непоточную стационарную сборку применяют при изготовлении машин в малых количествах, в мелкосерийном и единичном производствах. Все комплектующие сборочные единицы и детали подаются на одно рабочее место или сборочный стенд, на котором от начала и до конца осуществляется сборка изделия.

Рабочий или бригада рабочих выполняют сборку на одном объекте. Распределение выполняемых переходов между рабочими осуществляется бригадиром или мастером участка.

С целью облегчения труда и повышения производительности рабочее место обычно оборудуют универсальными приспособлениями и подъемно-транспортными средствами.

Выполнение всей сборки на одном объекте бригадой рабочих ограничивает возможности параллельного выполнения совмещенных во времени сборочных переходов. Это объясняется ограниченностью рабочей зоны и отсутствием физической возможности размещения большего числа рабочих.

В результате этого значительное число переходов приходится выполнять последовательно, что влечет за собой удлинение продолжительности цикла сборки. Все это приводит к колебаниям фактической трудоемкости и цикла сборки, а следовательно к неравномерному выпуску изделий в единицу времени и сравнительно невысоким технико-экономическим показателям.

С увеличением количества собираемых изделий представляется

целесообразным перейти к более эффективной подвижной непоточной сборке.

Отличительной особенностью организации такого сборочного производства является наличие транспортных устройств, обеспечивающих перемещения собираемых объектов от одного рабочего места к другому. В качестве транспортных средств используют склизы, рольганги, ленточные транспортеры, а также различного рода тележки (спутники), перемещающиеся по рельсам, закрепленным на полу или подвешенным к потолку цеха.

Транспортные устройства последовательно связывают отдельные рабочие места, расположенные по ходу техпроцесса сборки, в одну систему. Таким образом создается взаимосвязь между рабочими, занятыми на смежных операциях. Сборочные операции выполняются при этом параллельно-последовательно отдельными рабочими или бригадой на определенных рабочих местах, которые располагают вдоль транспортного устройства или непосредственно на его линии.

Рабочие места оборудуют необходимыми верстаками, монтажно-сборочными и контрольно-измерительными инструментами, а также стеллажами для монтируемых сборочных единиц и деталей. Каждый рабочий таким образом специализируется на выполнении определенной операции. Он выполняет все предусмотренные на его позиции сборочные переходы, а затем перемещает собираемый объект с помощью транспортера по направлению к следующему рабочему месту. Все это оказывает существенное влияние на сокращение затрат времени и повышение производительности по сравнению с непоточной стационарной сборкой.

При непоточной подвижной сборке фактическая продолжительность выполнения каждой операции может колебаться. Она зависит от квалификации рабочего, интенсивности его труда, а также от качества поступающих деталей и сборочных единиц. С целью компенсации колебания времени выполнения сборочных операций между рабочими местами создают небольшие межоперационные заделы собираемых объектов.

Использование межоперационных заделов позволяет уменьшить, а в ряде случаев и вообще исключить простои сборщиков, связанные с неритмичностью поступления собираемых объектов с предшествующих рабочих мест. Каждый из сборщиков, закончивший свою опе-

рацию раньше сборщика, работающего на предыдущем рабочем месте, может продолжать свою работу, используя межоперационный задел, без потери времени на ожидание. При этом целесообразное количество собираемых объектов, составляющих межоперационные заделы, может быть рассчитано заранее с учетом возможных колебаний продолжительности отдельных операций. Все это способствует повышению производительности труда сборщиков и выравниванию штучного выпуска собираемых изделий в единицу времени.

Таким образом, несмотря на дополнительные затраты, связанные с установкой транспортных устройств, непоточная подвижная сборка оказывается более эффективной по сравнению с непоточной стационарной сборкой. Она способствует повышению производительности труда и повышению других технико-экономических показателей. Непоточная подвижная сборка находит экономичное применение при переходе от сборки единичных изделий к их серийному изготовлению.

Подвижную сборку можно осуществлять для машин, имеющих достаточно жесткую конструкцию и сравнительно небольшую массу. Для машин, не имеющих достаточной жесткости, рекомендуется применять сборку с периодическим перемещением собираемого объекта. В этом случае собираемый объект на рабочих местах останавливается и все сборочные операции выполняют при его неподвижном состоянии. В результате значительно снижается влияние упругих деформаций недостаточно жестких базирующих деталей на точность собираемого изделия.

Крупногабаритные машины, а также машины большой массы монтируют с использованием стационарной сборки, при которой все собираемые объекты остаются на рабочих местах или стендах на протяжении всего процесса их сборки. Для организации стационарной поточной сборки создают рабочие бригады, каждая из которых последовательно выполняет одну и ту же закрепленную за бригадой операцию на каждом из собираемых объектов. При этом время выполнения всех переходов, образующих операцию, должно соответствовать такту выпуска изделия. Через периоды времени, равные такту выпуска, все рабочие (или бригады) по сигналу одновременно переходят от одних собираемых объектов к следующим. Такие бригады рабочих-сборщиков получили название «скользящие бригады». Сборка каждого из объектов, установленного на определенном стенде, заканчивается после поочередного выполнения работ на этом стенде всеми бригадами.

Примером организации поточной стационарной сборки с периодическим переходом рабочих от одних объектов к другим является общая сборка тяжелых токарных станков. Сборка осуществляется с помощью пяти бригад рабочих на пяти стандах, на каждом из которых располагается станок в различных стадиях его монтажа.

Первая бригада снимает с крайнего станда ранее собранный станок и перемещает его на испытательный стенд. Затем вместо снятого станка бригада устанавливает на стенд станину следующего станка. В это же время на втором станде вторая бригада выполняет шабрение и проверку направляющих, подготавливая таким образом станину станка к сборке.

На третьем станде третья бригада выполняет отделку шабрением каретки суппорта и ее установку на станину, бригада выполняет также пригонку планок и их крепление. Четвертая бригада в это время на четвертом станде монтирует переднюю и заднюю бабки, устанавливает корыто, коробку подачи и фартук. Пятая бригада выполняет монтаж верхней части суппорта, электрооборудования и системы охлаждения на пятом станде.

Продолжительность работы каждой из бригад равна установленному такту выпуска T , куда включается также время t_p , необходимое для перехода каждой из бригад к очередному станду. Переход бригад на соседние станды осуществляется по световому или звуковому сигналу после выполнения своих операций на стандах в принятый промежуток времени. Таким образом, сборка станка на каждом из стандов заканчивается после того, как каждая из пяти бригад выполнит закрепленные за ней объем работ.

Количество рабочих (бригад сборщиков) или стандов, организация которых необходима для выпуска собираемых изделий в требуемый такт выпуска, определяют по формуле

$$q = \frac{T_o - T_c}{(T - t_p) \cdot \lambda}, \quad (11.2)$$

где T_o – общая трудоемкость сборки изделия;

T_c – трудоемкость совмещенных переходов, выполняемых на станде;

t_p – время перемещения рабочих от одного станда к другому;

λ – количество параллельных потоков.

Количество необходимых параллельных потоков λ , например, два, три, означает соответствующее увеличение числа параллельно работающих бригад и сборочных стандов. Оно рассчитывается по формуле

$$\lambda = \frac{T_{\text{оп}}^{\text{нб}} + t_p}{T}, \quad (11.3)$$

где $T_{\text{оп}}^{\text{нб}}$ – продолжительность наиболее длительной операции.

Основным преимуществом поточной стационарной сборки является равномерный выпуск собираемых изделий с установленным тактом. Результатом этого являются короткий цикл сборки, высокая производительность труда, высокий съём продукции с одного м² площади и др. Областью эффективного использования поточной стационарной сборки является серийное производство машин, отличающихся недостаточной жесткостью базирующих деталей, большими габаритными размерами и весом. Примером этого является серийная сборка тяжелых станков, самолетов, крупных дизелей, тяжелых грузовых автомобилей.

Для выпуска машин и их сборочных единиц в больших количествах представляется экономичным использование поточной подвижной сборки с непрерывным или периодическим перемещением собираемых объектов. Рабочие места, располагаемые вдоль конвейера, оснащают необходимым по ходу сборки высокопроизводительным оборудованием – специальными приспособлениями, гайковертами и пр. Рабочие-сборщики специализируются при этом на выполнении определенных операций.

Перемещение собираемых объектов в процессе сборки выполняют с помощью различных конвейеров – ленточных, цепных, штанговых, рамных. При этом конструкция привода применяемых конвейеров обеспечивает возможность бесступенчатого регулирования скорости перемещения собираемых объектов.

Ленточные конвейеры применяют при сборке изделий небольших габаритов и малого веса, как например элементов электро- и гидроаппаратуры, карбюраторов автомобилей, небольших электродвигателей и др.

Более крупные изделия собирают с использованием цепных конвейеров замкнутого типа, на которых с помощью одной или двух параллельных цепей осуществляется перемещение тележек-спутников с установленными на них собираемыми объектами. Возврат свободных спутников к началу конвейера обычно осуществляют по нижней части конвейера под полом цеха. Для лучшего использования производственной площади цеха конвейеры в ряде случаев делают по кольцевому типу, что позволяет выполнять сборку практически по всему периметру конвейера.

С целью высвобождения площади пола и создания лучших условий для работы сборщиков применяют также подвесные конвейеры цепного типа, на которых представляется возможным выполнять монтаж объекта с различных сторон, в том числе и снизу. Такие конвейеры обычно имеют большую протяженность и объединяют многочисленный ряд рабочих мест. Подвесные цепные конвейеры применяют для общей сборки легковых автомобилей, для сборки автомобильных двигателей и других изделий.

В случае сборки с непрерывным перемещением собираемого объекта каждый из рабочих выполняет сборку, перемещаясь со скоростью движения конвейера в пределах длины сборочной позиции (рабочего места). Для выполнения всех переходов, входящих в данную сборочную операцию, количество рабочих на позиции может быть различным, они могут располагаться относительно собираемого объекта с одной или нескольких сторон.

По окончании сборки рабочие возвращаются в исходное положение, к началу сборочной позиции, для сборки следующего объекта. В соответствии с этим скорость конвейера при поточной сборке с непрерывным движением собираемого объекта ограничивают с учетом физиологических возможностей человека и его утомляемости.

При непрерывном перемещении собираемого объекта скорость движения конвейера v (м/мин) рассчитывают по формуле

$$v = \frac{L + l}{T \cdot \gamma}, \quad (11.4)$$

где L – длина (м) собираемого объекта в направлении движения конвейера;

l – расстояние (м) между собираемыми объектами, предусматриваемое для удобства сборки;

γ – число параллельных потоков (параллельных линий конвейера).

Принимаемое значение скорости не должно превышать величины, допускаемой охраной труда и техникой безопасности. В противном случае для выполнения заданной программы выпуска необходимо увеличивать количество параллельных потоков.

Важным преимуществом поточной сборки с непрерывным движением собираемых объектов является практически полное совмещение времени, затрачиваемого на транспортирование объектов, со временем их сборки. В результате достигается дополнительное сокращение продолжительности цикла сборки и потребности в производственной площади.

Для перемещения изделий сравнительно большой массы, например токарных или фрезерных станков средних размеров, которые при сборке устанавливаются непосредственно на пол, применяют рамные конвейеры. Такие конвейеры обеспечивают периодическое перемещение собираемых объектов в соответствии с тактом выпуска.

На протяжении всего сборочного участка монтируют одну или ряд металлических сварных рам, образующих многосекционный рамный конвейер. В исходном положении рама располагается на 15...20 мм ниже уровня пола. Для одновременного перемещения всех собираемых объектов на один шаг, с одного рабочего места на соседнее, рама поднимается на 10 мм выше уровня пола, а затем перемещается вдоль на требуемое расстояние 2,5...3 м. При этом происходит подъем установленных на раме собираемых объектов и перемещение их на следующее рабочее место. После опускания рамы собираемые объекты устанавливаются на пол со сдвигом на один шаг, а рама, освободившись от собираемых объектов, возвращается в исходное положение. Подъем и опускание рамы осуществляется с помощью встроенных гидроцилиндров, а величина ее продольного перемещения регулируется соответствующей установкой конечных выключателей. Продолжительность перемещения собираемых объектов от одного рабочего места к другому составляет порядка 30 с.

Таким образом рамные конвейеры являются относительно простыми, универсальными и могут быть эффективно использованы для пошагового перемещения различных собираемых объектов.

Количество необходимых рабочих мест или позиций, которые последовательно проходит по конвейеру собираемое изделие, рассчитывают по формуле

$$q = \frac{T_o - T_c}{(T - t_n) \gamma} \quad (11.5)$$

где T_o – общая трудоемкость сборки изделия;

T_c – трудоемкость совмещенных переходов;

t_n – время перемещения изделия от одного рабочего места к другому;

γ – количество параллельных потоков.

Количество параллельных потоков γ сборки определяют с учетом производственной программы выпуска по формуле

$$\lambda = \frac{T_{\text{нб}} + t_{\text{п}}}{T}, \quad (11.6)$$

Длину рабочей части конвейера L_p рассчитывают по формуле

$$L_p = (L + l)(q + 1). \quad (11.7)$$

Таким образом, при поточной сборке с непрерывным или периодическим движением собираемого объекта осуществляется постоянный выпуск изделий с требуемым тактом, что является основным преимуществом поточного производства. Поточная сборка с перемещением собираемых объектов обеспечивает наименьшую продолжительность цикла сборки, наиболее высокую производительность, равномерный выпуск продукции и наиболее высокие технико-экономическими показатели по сравнению с другими видами и формами организации сборочного производства.

Для организации поточного производства расстановку оборудования на участках и в цехах осуществляют таким образом, чтобы обеспечить «сквозной поток», при котором достигается непрерывность движения всех объектов производства по наикратчайшим путям от их поступления в цех до выхода готовой продукции. Планировку линий механической обработки деталей и участков промежуточной узловый сборки выполняют так, чтобы получаемые детали или узлы непосредственно поступали к тем местам сборочного конвейера, где эти детали требуются по ходу сборки.

Таким образом, основными преимуществами поточной формы организации производства являются: 1) высокая производительность труда; 2) короткий цикл изготовления изделий, а следовательно ускоренная оборачиваемость и сокращение вкладываемых в производство средств; 3) высокие технико-экономические показатели – выпуск продукции с единицы площади и на единицу оборудования; 4) стабильность качества выпускаемой продукции; 5) упрощение планирования, учета и управления производством; 6) значительное снижение себестоимости продукции.

Однако реализация поточной подвижной сборки требует значительных первоначальных затрат на изготовление и установку конвейеров и другого оборудования. Окупаемость таких затрат возможна только при больших объемах выпуска изделий по неизменным чертежам на протяжении нескольких лет. Это, в свою очередь, требует разработки морально-долговечной, устойчивой конструкции новой машины.

В соответствии с этим, недостатком поточного производства является сложность перехода на изготовление изделий новой конструкции, так как это связано с большими затратами на проектирование и изготовление нового технологического и подъемно-транспортного оборудования, новой технологической оснастки и режущего инструмента.

11.2. Формирование и нормирование сборочных операций

Для определения трудоемкости сборочных работ и расчета необходимого числа рабочих-сборщиков проводят нормирование всех сборочных переходов. Определение трудоемкости сборки изделия и формирование из переходов сборочных операций выполняют на заключительном этапе разработки технологического процесса сборки машины, после составления технологии сборки. Чем детальней разработан технологический процесс сборки, тем точнее и легче может быть выполнено его нормирование.

Нормирование сборочных переходов выполняют в соответствии с методикой, изложенной в параграфе 9.2 с использованием нормативов времени на слесарно-сборочные работы [11].

Нормативы времени содержат нормы оперативного времени на выполнение различных наиболее распространенных сборочных переходов, связанных с соединением типовых деталей машин – установкой, запрессовкой, пригонкой, закручиванием винтов, гаек и пр. При этом учитываются габариты и вес собираемых деталей, а также применяемые средства механизации и разряд рабочего. Время необходимое для установки детали или узла определяют с учетом веса детали, способа ее базирования, закрепления и удобства выполнения работы. На рис. 9.6 в качестве примера приведены нормативные данные затрат штучного времени на запрессовку деталей на вал или в отверстие с применением гидравлического пресса. В таблице указан также состав выполняемых при этом технологических переходов, вес и геометрические параметры устанавливаемых деталей, в соответствии с которыми определяются затраты штучного времени.

Для подсчета штучного времени к оперативному времени прибавляют время на обслуживания рабочего места и дополнительное время, определяемое в процентах от оперативного времени. Время на обслуживание рабочего места в зависимости от вида работ устанавливают в пределах (2 – 6) %, а дополнительное время на отдых – в пределах (4 – 6) % от оперативного времени.

Полученные затраты времени на выполнение отдельных переходов и на сборку определенных сборочных единиц суммируют, определяя таким образом общую трудоемкость сборки изделия T_o .

Количество рабочих-сборщиков или бригад рабочих, необходимых для общей сборки машины, сборки ее узлов, подузлов и комплектов, определяют с использованием формул, приведенных в параграфе 11.2.

Зная содержание выполняемых переходов, их трудоемкость и необходимое число рабочих, представляется возможным объединить переходы в операции, выполняемые на отдельных рабочих местах. При этом выбирают наиболее оптимальные варианты объединения сборочных переходов, при которых каждая формируемая операция представляет собой законченную часть технологического процесса, выполняемую рабочим или бригадой рабочих на отдельном рабочем месте.

Объединение переходов в операции выполняют с учетом принимаемого вида и формы организации производственного процесса сборки машины. В результате трудоемкость сборки машины T определяется путем суммирования штучного времени $t_{шт}$ по всем n сборочным операциям:

$$T_o = \sum_{i=1}^{i=n} t_{шт}.$$

В условиях мелкосерийного производства при использовании непоточной стационарной сборки формирование операций осуществляют по собираемым сборочным единицам. В результате содержание операции составляют переходы по законченной сборке какой-то сборочной единицы – комплекта, подузла или узла. Например, сборка валов редуктора, которая включает установку шпонок на вал, установку зубчатых колес, запрессовку подшипников и пр. Или, например, пригонка шабрением основных баз кареток на плотность прилегания к направляющим станины. Выполнение таких операций возлагают на рабочего или на бригаду рабочих, которые специализируются на выполнении данного вида работ.

В крупносерийном и массовом поточном производствах формирование сборочных операций осуществляют из переходов, выполняемых в соответствии с требуемой последовательностью соединения деталей и сборочных единиц в изделие так, чтобы продолжительность каждой операции была равна или кратна такту выпуска изделий.

Для достижения равенства или кратности длительности операций такту выпуска осуществляют частичное изменение последовательности сборки, перекомпоновку переходов в отдельных операциях, а так-

же совмещение или расчленение операций. С этой же целью изменяют режимы работы оборудования, разрабатывают более производительные методы сборки с применением нового оборудования и технологической оснастки. Если продолжительность операции в несколько раз превышает такт выпуска, то для ее выполнения организуют несколько параллельных потоков.

В тех случаях, когда сборку изделий выполняют партиями, необходимо с помощью нормативов учитывать подготовительно-заключительное время, то есть затраты времени на работу, связанную с подготовкой к сборке данной партии изделий. Это время делят на количество собираемых изделий в партии, а затем суммируют со штучным временем.

Для наглядного отображения продолжительности цикла сборки машин строят циклограмму (см. рис. 11.6). По горизонтальной оси откладывают затраты времени на выполнение сборочных переходов (операций), а по вертикали отображают состав предусмотренных сборочных переходов и операций.

Циклограмма наглядно отражает не только затраты времени и последовательность выполнения операций, но также и вводимое совмещение операций во времени. С помощью циклограммы представляется возможным выявить дополнительные пути сокращения цикла сборки за счет параллельного выполнения отдельных переходов и операций. Она позволяет также выявить оптимальную компоновку сборочных операций.

11.3. Монтаж валов на опорах скольжения и качения

Валы предназначены для базирования вращающихся деталей (зубчатых колес, маховиков, муфт) при передаче им требуемого крутящего момента с заданной частотой вращения. Полые валы-шпинделя предназначены для базирования режущего инструмента или обрабатываемых деталей. В соответствии с этим на сборку валов предъявляют следующие технические требования: легкость вращения вала в подшипниках; отсутствие вибрации; допустимая величина радиального биения; допустимая величина осевого биения; точность положения оси вала относительно основных баз корпуса.

Монтаж валов на опорах скольжения

Подшипники скольжения являются опорами вращающихся дета-

лей, работающих в условиях скольжения через слой смазки с охватывающей неподвижной поверхностью втулки или вкладыша. Втулки и вкладыши, установленные в корпусе подшипника, воспринимают передаваемую нагрузку и являются наиболее ответственными деталями подшипника. Их изготавливают из материалов, обладающих хорошей прирабатываемостью, износостойкостью, пластичностью и низким коэффициентом трения. Такие материалы бывают пластичные (твердость не более 50 НВ), мягкие (50...100 НВ) и твердые (не менее 100 НВ). К пластичным материалам относятся баббиты, свинцовые бронзы; к мягким – оловянные бронзы; к твердым – чугун и алюминиево-железистые бронзы. Баббиты – сплавы на основе олова и свинца, отличающиеся хорошими антифрикционными свойствами. Пластичные материалы применяют для высоконагруженных многооборотных подшипников, рассчитанных на работу в области жидкостного трения, а мягкие и твердые материалы – для подшипников граничного и полужидкостного трения, работающих при умеренных скоростях.

Наиболее важным требованием при монтаже таких валов является создание требуемого радиального зазора между опорными шейками вала и рабочей поверхностью подшипника, величина которого определяется выбранной посадкой ($H7/f7$; $H7/d6$; $H8/f8$; $H8/f7$) и другими условиями. Посадки с меньшим зазором обеспечивают лучшее центрирование. Посадки с большим зазором применяют для скоростных валов с меньшим удельным давлением в опорах. По конструкции подшипники скольжения бывают следующих основных видов (рис. 11.8): втулочные, вкладышные разъемные, конические и специальные. Для уменьшения влияния перекосов при установке вала применяют также самоустанавливающиеся подшипники, в которых вкладыши выполняют со сферической опорной поверхностью. Специальные подшипники применяют для создания пневмо- и гидростатических опор с малым коэффициентом трения. В подшипниках имеется несколько полостей (карманов), в которые под давлением подается сжатый воздух или масло. В результате в опоре создается гидро- или аэродинамический эффект, при котором отсутствует непосредственный контакт между шейкой вала и вкладышем. Гидростатические опоры применяют для создания высокой точности вращения, а также для тяжело нагруженных валов. Аэростатические подшипники применяют для валов с малыми нагрузками и высокими скоростями вращения.

Втулочные подшипники конструктивно могут быть выполнены в виде гладкой втулки или втулки с буртиком (рис. 11.8, а). Они могут

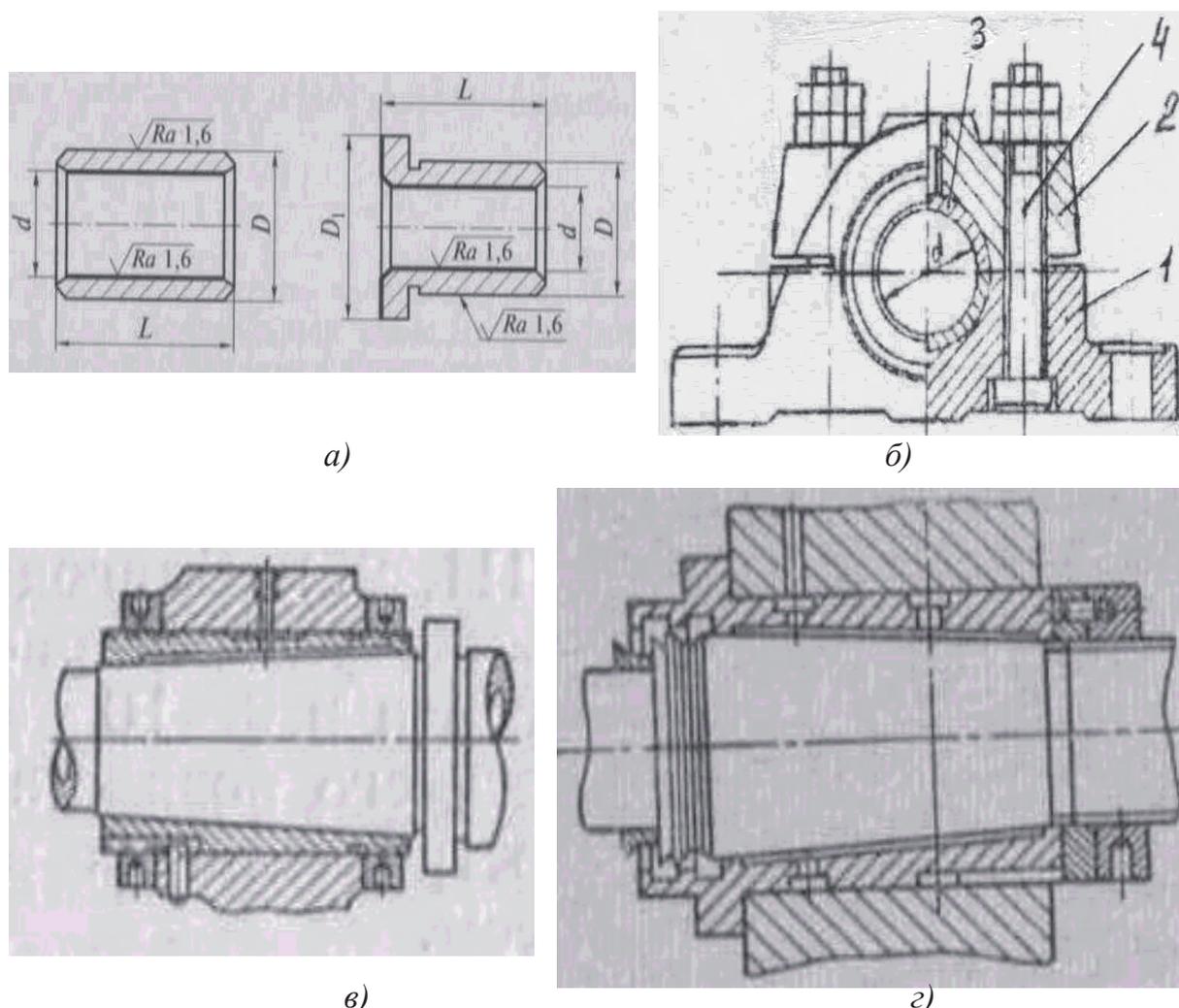


Рис. 11.8. Типы подшипников скольжения: а – втулочные; б – вкладышные разъемные; в – конические; г – специальные

быть металлические (ГОСТ 1978–81), биметаллические (ГОСТ 24832–81) и из спекаемых материалов (ГОСТ 24833–81). Их устанавливают в корпус с натягом путем запрессовки с помощью пневмопрессов или из-под молотка с использованием универсальной выколотки. Возможна постановка втулок с зазором на специальные самотвердеющие смеси на эпоксидной основе. Последнее применяют для малонагруженных соединений. Возможна также безударная постановка втулки. С этой целью ее предварительно охлаждают в термостате с сухим льдом до температуры $-70...-80$ °С. Для исключения перекоса и возможности образования задиров запрессовку выполняют с использованием приспособо-

блений для центрирования, обеспечивающих совмещение оси втулки с осью отверстия (рис. 11.9).

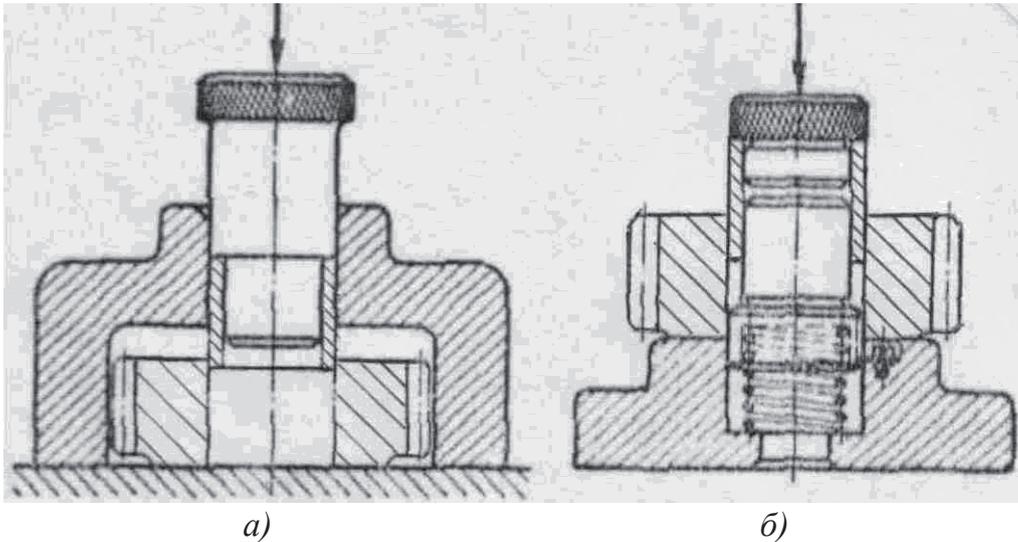


Рис. 11.9. Приспособления для центрирования втулок при их запрессовке в отверстие зубчатого колеса: *а* – центрирование по наружной цилиндрической поверхности; *б* – центрирование по поверхности отверстия

При установке втулки с натягом, особенно при запрессовке, происходит ее деформация и потеря геометрической точности базового отверстия. Уменьшение диаметра отверстия втулки после ее запрессовки Δ_d (мкм) можно рассчитать по формуле

$$\Delta_d = \frac{2 \cdot p \cdot d^2 \cdot D \cdot 10^3}{E \cdot (d^2 - D^2)},$$

где p – напряжение сжатия на поверхности сопряжения;

d и D – соответственно наружный и внутренний диаметры втулки;

E – модуль упругости материала втулки.

Для устранения коробления на поверхности отверстия оставляют припуск для чистового растачивания или развертывания (последнее может быть выполнено вручную). Развертывание обеспечивает требуемую точность диаметрального размера отверстия, однако оно не исправляет положение его оси относительно базы. С целью исключения возможного поворота втулки в отверстии ее закрепляют путем постановки штифтов или стопорных винтов, для этого необходимо выполнить сверление отверстия и нарезание резьбы метчиком.

В массовом производстве при изготовлении шатунов втулочные подшипники делают из биметаллической ленты, выполненной в виде стальной полосы (ст.2 или ст.3), покрытой тонким слоем баббита. Лен-

ту разрезают по длине периметра, вставляют в отверстие и выглаживают по цилиндрической поверхности прошивкой.

Вкладышные разъемные подшипники (рис. 11.8, б) по конструкции могут иметь взаимозаменяемые и невзаимозаменяемые вкладыши. Взаимозаменяемые вкладыши представляют собой тонкостенные стальные полукольца (1,5...3 мм), покрытые с внутренней стороны тонким слоем баббита. Эти вкладыши после монтажа не подвергают механообработке, а к базовым поверхностям корпуса подшипника и его крышке предъявляют повышенные требования (овальность не более 0,015...0,02 мм, конусность не более 0,01... 0,015 мм на длине 100 мм). При выполнении ремонта эти вкладыши заменяют комплектом на новые.

Невзаимозаменяемые вкладыши изготавливают толстостенными (3...5 мм), после монтажа их базовое отверстие обрабатывают путем чистовой расточки и развертывания. В случае замены таких вкладышей на новые также предусматривается чистовая обработка отверстий.

При монтаже вкладышей необходимо обеспечить их плотное прилегание по периметру полукольца. В противном случае под действием циклической нагрузки может произойти отслаивание антифрикционного

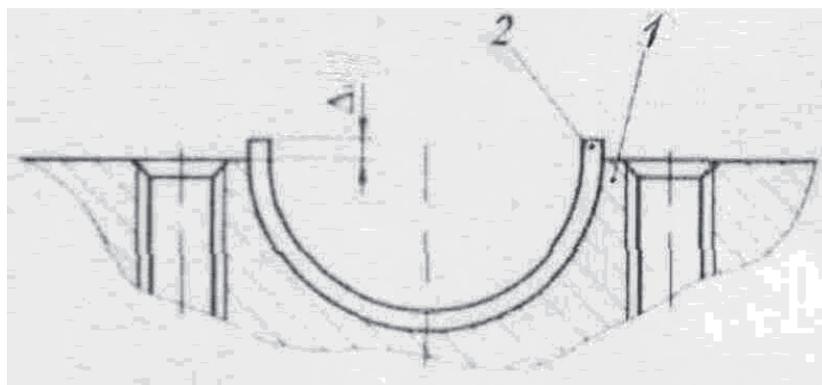


Рис. 11.10. Расположение вкладыша в корпусе подшипника при монтаже: 1 – корпус; 2 – вкладыш

слоя. Плотность прилегания обеспечивается за счет натяга, создаваемого при превышении плоскости вкладыша над плоскостью разъема подшипника $\Delta = 0,05...0,1$ мм (рис. 11.10).

Требуемую точность радиального зазора в конических подшипниках (рис. 11.9, б) достигают методом регулировки путем осевого перемещения втулки с помощью двух гаек, расположенных на ее концах.

Формирование осевого биения валов на опорах скольжения обусловлено наличием осевых зазоров в подшипниках и отклонениями от перпендикулярности β контактируемых торцевых поверхностей относительно оси вращения вала (рис. 11.11). При этом имеет место действие избирательного закона суммирования отклонений, согласно которому на осевое биение оказывает влияние меньшее из отклонений на

двух контактируемых торцах ω_3 и ω_4 . В соответствии с этим индикатор, фиксирующий осевое биение вала за один его оборот, покажет:

$$\Delta_n = \omega_1 + \omega_2 + \omega_5.$$

Для достижения требуемой точности осевого биения вала необходимо путем регулировки до минимума сократить осевые зазоры в подшипниках и обеспечить требования перпендикулярности торцевых

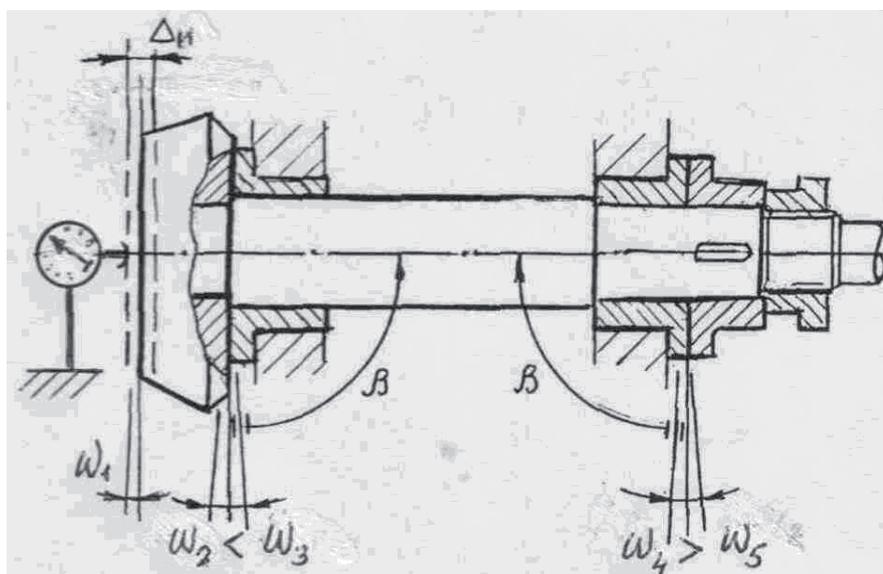


Рис. 11.11. Схема формирования осевого биения вала

поверхностей хотя бы у одного из контактируемых торцов. Проще и технологичнее эти требования можно обеспечить на торцевых поверхностях вала на операции круглого шлифования его опорных ступеней.

Для подшипников скольжения жидкостного трения критерием работоспособности является наличие слоя смазки, достаточного для восприятия нагрузки, минимальная величина которого должна быть больше суммы высот неровностей поверхностей опорной ступени и вкладыша. Поэтому при их сборке выполняют операции по созданию каналов в виде пазов и отверстий, обеспечивающих подвод, засасывание и равномерное распределение смазки. Выполняют также операции по созданию в опорах необходимой герметизации.

Ремонт неразъемных подшипников (втулок) выполняют, когда износ шейки вала и отверстия втулки достигает предельно допустимой величины. Опорную шейку вала шлифуют, а втулку заменяют новой – с диаметром отверстия, соответствующим по размерам шлифованной шейке вала. Подшипники с невзаимозаменяемыми вкладышами при небольшом износе отверстия ремонтируют шабрением с проверкой площади прилегания и качества контакта по краске.

Восстановление втулочных и разъемных подшипников осуществляют также путем металлизации – напылением по внутренней по-

верхности слоя бронзы или баббита с последующей механической обработкой отверстия до нужного размера.

Для восстановления работоспособности втулочных подшипников применяют также технологический метод создания обратных пар трения. Согласно этому методу на опорную поверхность вала газотермическим способом наносят тонкослойное антифрикционное покрытие, а дорогостоящие втулки из цветных металлов заменяют на стальные или чугунные. В результате имеет место снижение себестоимости изделия и существенная экономия цветных металлов [15].

Монтаж валов на опорах качения

Требуемая точность при сборке валов на опорах качения достигается с использованием методов взаимозаменяемости и регулировки. Выпускаемые в России подшипники делятся на пять классов точности (0, 6, 5, 4 и 2), расположенных в порядке ее повышения. Для обеспечения легкости вращения вала подшипники средних размеров должны иметь радиальный зазор ε между телами качения и кольцами в пределах 5...15

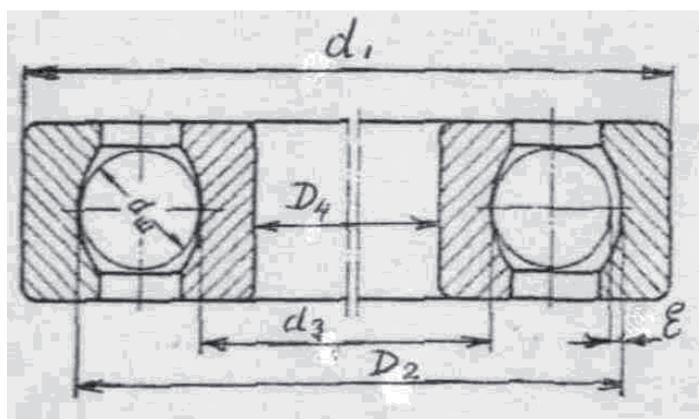


Рис. 11.12. Схема образования радиального зазора в подшипнике

мкм (рис. 11.12). Этот зазор равен $\varepsilon = D_2 - 2d_{ш} - d_3$, его можно изменить путем осевого смещения одного кольца относительно другого.

В корпусных деталях на диаметральные размеры отверстий, предназначенных для установки подшипников качения, устанавливают допуски: H6; H7; Js6; Js7; K6; K7. На опорные шейки валов, предназначенных для установки подшипников, устанавливают допуски: i5; i6; k5; k6; k7; m5; m6; n5; n6, h8.

Выбор посадки и соответствующего натяга определяется служебным назначением вала. Однако в любом случае при установке подшипника с натягом происходит уменьшение радиального зазора, что необходимо учитывать. Установлено, что при запрессовке внутреннего кольца уменьшение радиального зазора составляет $(0,55...0,6)N_B$ – от величины натяга по внутреннему кольцу N_B , а при запрессовке наружного кольца уменьшение радиального зазора составляет $(0,65...0,7)N_H$ от величины натяга по наружному кольцу N_H .

Для подшипников вреден как излишне малый, так и излишне большой зазор. В первом случае происходит разогрев подшипников и в итоге заклинивание, а во втором случае – разбиение, что также приводит к заклиниванию. Необходимо обеспечивать требуемый, заданный в технических условиях зазор. Это требование конструктор обычно определяет косвенно – путем задания крутящего момента или осевой силы, при которых осевое смещение одного кольца подшипника относительно другого создает в подшипнике необходимый натяг, обеспечивающий формирование требуемого зазора. Проверяют зазор в подшипнике также косвенно – путем измерения смещения, возникающего при покачивании установленной на вал детали, или путем оценки легкости ее вращения.

Установку подшипника осуществляют путем запрессовки с использованием ударной или безударной сборки. При ударной сборке происходит запрессовка колец подшипников с помощью пневмопрессов или из-под молотка с использованием промежуточного кольца. В результате создается продольно-прессовое соединение и нанесение удара неблагоприятно сказывается на геометрической точности подшипников.

При этом необходимо соблюдать изложенные ниже правила монтажа:

- усилие запрессовки необходимо прикладывать только к тому кольцу, которое устанавливают на посадочное место;
- усилие запрессовки необходимо прикладывать равномерно по всему периметру кольца через промежуточное монтажное кольцо;
- при одновременной запрессовке подшипника на вал и в корпус усилие запрессовки следует одновременно и равномерно прикладывать на внутреннее и наружное кольцо, для чего применяют специальные приспособления (рис. 11.13);
- запрещается передавать усилия запрессовки через сепаратор и тела качения.

Требуемое значение силы запрессовки можно рассчитать по формуле [17]

$$F = f \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot p,$$

где f – коэффициент трения при запрессовке, который с учетом материала детали, шероховатости поверхности и смазки составляет $f = 0,02 \dots 0,3$; D – диаметр охватываемой детали (мм); L – длина запрессовываемой детали (мм); p – напряжение сжатия на сопрягаемых поверхностях.

Для осуществления безударной сборки необходимо создать нужный сборочный зазор в пределах 0,02 – 0,05 мм, который гарантирует свобод-

ную постановку кольца на вал или в корпус. С этой целью осуществляют нагрев подшипника в масляных ваннах до $T^{\circ} = 80 \dots 90^{\circ}\text{C}$. Подшипники малого диаметра могут быть нагреты струей горячего воздуха.

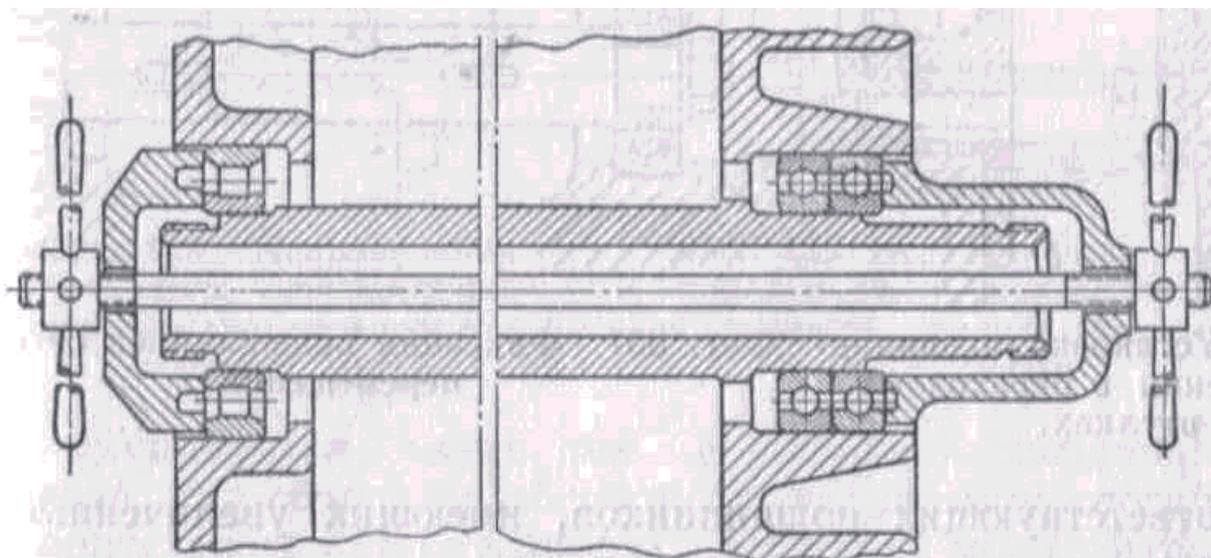


Рис. 11.13. Приспособление для одновременной запрессовки подшипников на вал и в корпус

Температуру нагрева охватывающей детали можно рассчитать:

$$T^{\circ} \geq \frac{(D - d) + \Delta_{\text{н}}}{k_{\alpha} \cdot d} + T_{\text{н}},$$

где D – диаметр охватываемой детали (мм); d – диаметр охватывающей детали; k_{α} – коэффициент линейного расширения материала нагреваемой детали; $T_{\text{н}}$ – начальная температура детали, принимаемая $T_{\text{н}} = 20^{\circ}\text{C}$; $\Delta_{\text{н}}$ – наименьшая величина создаваемого сборочного зазора.

Возможно наоборот осуществить охлаждение вала до $T^{\circ} = (-70) \dots (-80)^{\circ}\text{C}$, для чего используют специальные термостаты, наполненные твердой углекислотой (сухой лед). Для более глубокого охлаждения до $T^{\circ} = (-190) \dots (-195)^{\circ}\text{C}$ применяют емкости с жидким азотом.

Температуру охлаждения охватываемой детали можно рассчитать:

$$T^{\circ} = \frac{(D - d) + \Delta_{\text{н}}}{k_{\alpha} \cdot d} - T_{\text{н}}.$$

Однако технологии, связанные с использованием жидкого азота, с нагревом в масляных ваннах, выделяющих вредные пары, являются экологически неблагоприятными, опасными для здоровья и могут стать причиной возникновения пожара. Более совершенным является использование для нагрева специальных термоиндукционных нагревателей, работающих на частоте 50 Гц и обеспечивающих локальный местный на-

грев (например, только внутреннего кольца подшипника или только зоны отверстия в корпусе). В последние секунды работы прибор осуществляет автоматическое размагничивание нагреваемого участка.

При монтаже подшипников важно обеспечить точную установку кольца по оси до базового буртика на валу или в корпусе, в противном случае имеет место перекос беговой дорожки и неравномерный ее износ.

С этой целью применяют специальные стяжки (см. рис. 11.13) и приспособления. Допустимый зазор между кольцом и буртиком, контролируемый с помощью щупа, не должен превышать 0,02 – 0,03 мм на длине $1/3$ периметра кольца подшипника.

Так как кольца подшипников являются тонкостенными, то при их установке на вал или в корпус происходит копирование погрешностей геометрической формы базовых поверхностей, что приводит к искажению геометрии беговой дорожки, а следовательно к разным по величине зазорам и неравномерному износу. Поэтому к опорным шейкам вала и к базовым отверстиям в корпусе предъявляются высокие требования точности (IT6, IT7). При этом овальность в отверстиях или на валу не должна превышать $(1/4 \dots 1/2)T_D$ (допуска на диаметр). Отклонение от перпендикулярности базовых торцов относительно оси не должно превышать 0,004 – 0,03 мкм у валов и 0,008 – 0,015 мкм в корпусе.

Обычные подшипники монтируют в сборе, и только у радиально-упорных и опорных подшипников отдельно монтируют внутреннее кольцо, сепаратор с роликами и наружное кольцо. Устанавливаемые подшипники должны иметь достаточную внутреннюю смазку.

Контроль точности собранного подшипника – его радиального и осевого биения – выполняют в специальном приспособлении до его установки (рис. 11.14). Подшипник базируют по внутреннему кольцу и вращают наружное кольцо на 360° . Радиальное биение Δ_p представляет собой удвоенное смещение $\Delta_p = 2\varepsilon$ (удвоенный эксцентриситет) центра наружного кольца подшипника относительно центра внутреннего кольца. Его определяют как разность показаний левого индикатора: $\Delta_p = I_{\max} - I_{\min}$. Осевое биение Δ_o определяют как разность показаний правого индикатора: $\Delta_o = I_{\max} - I_{\min}$.

В тех случаях, когда радиальный зазор в собранном на заводе подшипнике необходимо уменьшить, обеспечив тем самым меньшую величину радиального биения в опоре, применяют специальный технологический прием, который называют «монтаж подшипниковых опор с предварительным

натягом». Величину предварительного натяга, позволяющего устранить в подшипнике лишний зазор, задает конструктор в технических требованиях на сборку узла. Это требование обычно формулируют для опор шпинделей и валов в узлах повышенной точности.

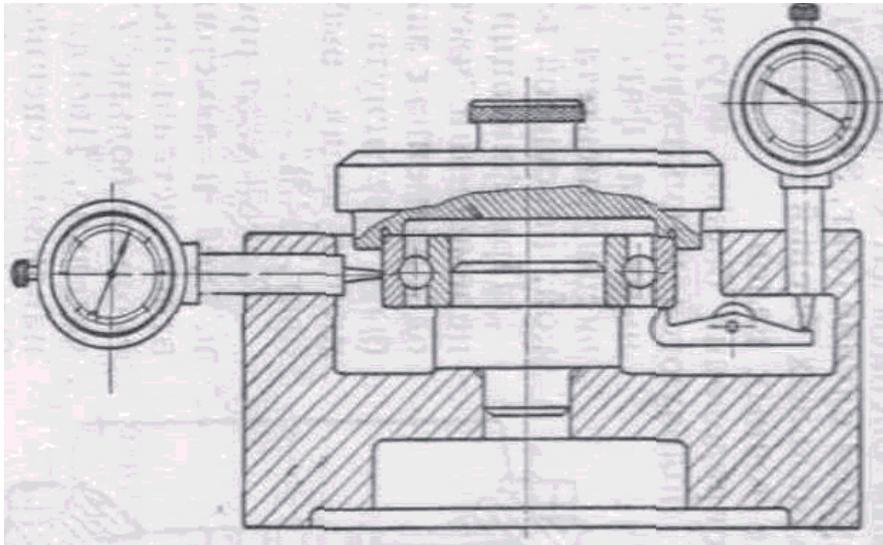


Рис. 11.14. Приспособление для контроля радиального и осевого биения подшипника

перемещающей одно из колец. Для создания в подшипниках предварительного натяга применяют специальную технологическую оснастку (рис. 11.15). Два подшипника, образующих в комплекте опору вала, устанавли-

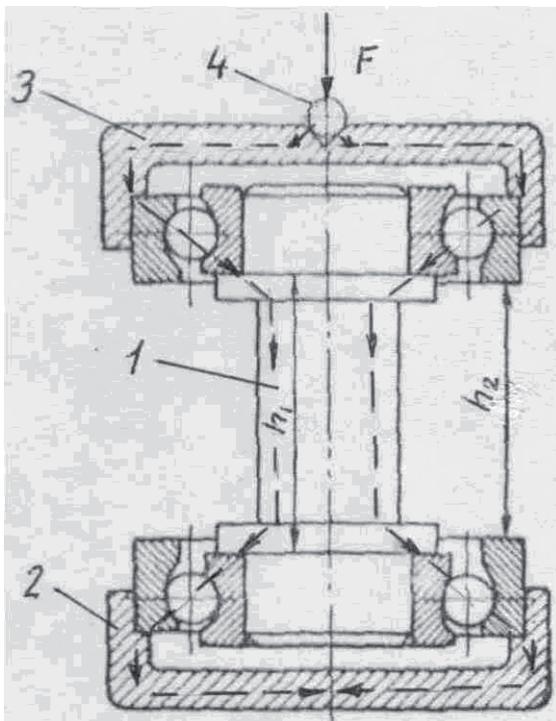


Рис. 11.15. Создание предварительного натяга в двух подшипниках опоры вала

вают на оправку 1, которую затем с помощью двух чашек 2, 3 располагают вертикально и через шарик 4 нагружают заданной осевой силой F . В результате создается направленный поток нагрузки (показан стрелками), который проходя через кольца, шарики и валик образует требуемый натяг. При этом происходит смещение наружных колец подшипников относительно внутренних на величину разности $\Delta h = h_1 - h_2$. Размер между наружными кольцами замеряют в двух перпендикулярных направлениях h'_2 , h''_2 и рассчитывают среднее значение $h_{2cp} = 0,5 (h'_2 + h''_2)$. Затем в соответствии с полученным значением h_{2cp}

делей и валов в узлах повышенной точности.

Предварительный натяг задают как величину осевой силы $F(n)$, воспринимаемую в опорах, или как величину крутящего момента $M_{кр}$ (н·м) для затяжки гайки,

изготавливают распорную втулку и устанавливают ее между наружными кольцами при монтаже подшипников в корпус.

Возможные конструктивные решения, позволяющие создать натяг в подшипниковых опорах путем осевого относительного смещения колец на размер a , показаны на рис. 11.16. Эти решения предусматривают:

– подшлифовку торца наружного или внутреннего кольца (рис. 11.16, а);

– установку промежуточных втулок различной ширины (рис. 11.16, б);

– установку пружины, создающей заданную силу предварительного натяга (рис. 11.16, в).

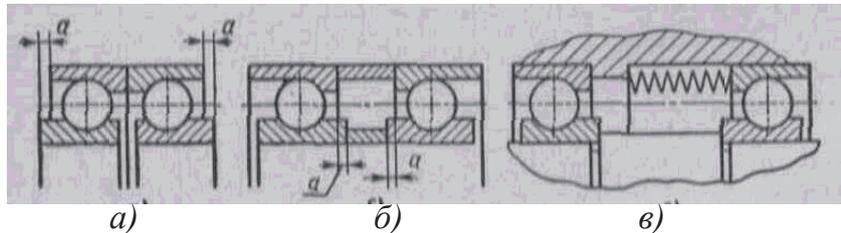


Рис. 11.16. Способы создания натяга в подшипниковых опорах.

Наличие в подшипниковых опорах вала радиальных зазоров определяет его радиальное биение, величина которого в различных сечениях неодинакова. Рассмотрим это на примере шпинделя, для которого в соответствии с его служебным назначением важно обеспечить минимум биения на его исполнительных поверхностях – на коническом отверстии (рис. 11.17).

Радиальное биение конического отверстия Δ_p представляет собой удвоенное смещение его оси относительно оси вращения шпинделя $\Delta_p = 2\varepsilon$ (удвоенный эксцентриситет). В свою очередь, величина эксцентриситета ε зависит от смещений, формируемых соответственно в передней ε_1 и задней ε_2 опорах.

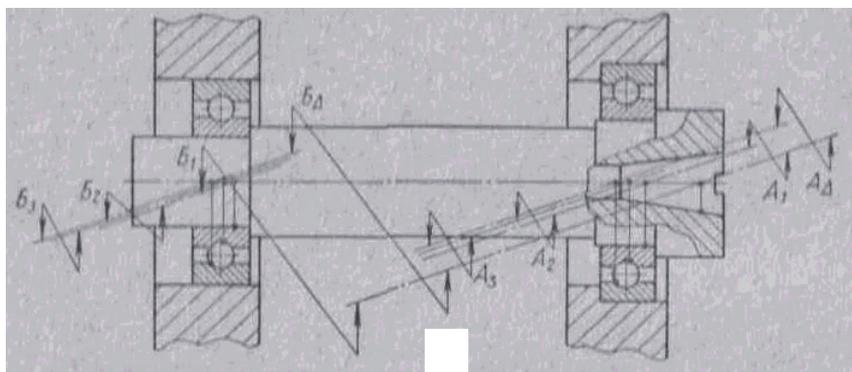


Рис. 11.17. Размерные связи, определяющие формирование радиального биения конического отверстия шпинделя

Представив эти смещения как замыкающие звенья соответствующих размерных цепей A_Δ , B_Δ , получим

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2; \quad A_\Delta = \varepsilon_1; \quad B_\Delta = \varepsilon_2; \quad \varepsilon = A_\Delta + B_\Delta.$$

Составляющие звенья конструкторских размерных цепей A_Δ и B_Δ :

$$A_\Delta = A_1 + A_2 + A_3; \quad B_\Delta = B_1 + B_2 + B_3$$

определяют точностные параметры шпинделя и подшипников, оказывающих непосредственное влияние на формирование радиального биения: A_1 и B_1 – смещения оси конического отверстия относительно передней и задней опорных шеек; A_2 и B_2 – смещения беговых дорожек внутренних колец подшипников относительно их отверстий; A_3 и B_3 – смещения беговых дорожек внутренних колец относительно беговых дорожек наружных колец подшипников.

Для выявления путей уменьшения радиального биения на конце

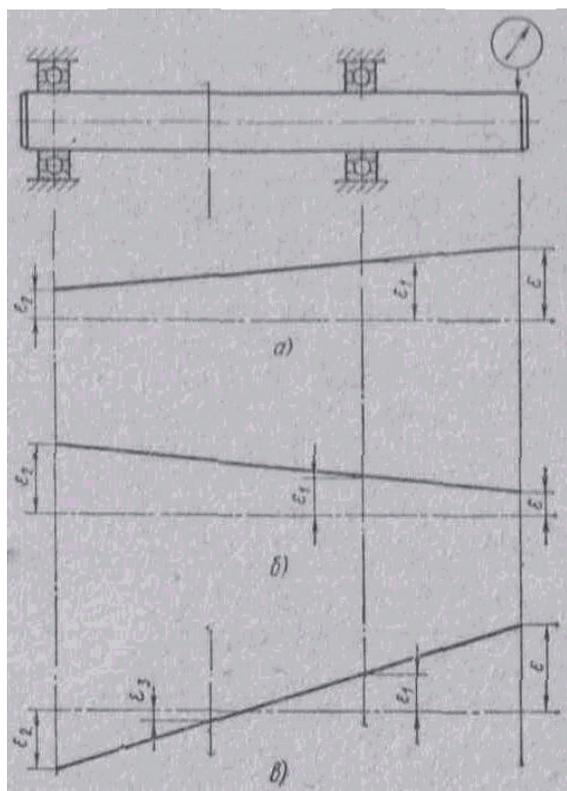


Рис. 11.18. Схемы расположения оси вала при различных эксцентриситетах в опорах

рассмотрим следующие возможные варианты расположения эксцентриситетов в опорах (рис. 11.18). Неблагоприятными являются первый и третий варианты (рис. 11.18, а, в). В первом случае (см. рис. 11.18, а) смещение в передней опоре больше чем в задней $\epsilon_1 > \epsilon_2$, а во втором (рис. 11.18, в) эксцентриситеты в опорах направлены по разную сторону относительно оси вращения, что приводит к наибольшему смещению $\epsilon = \epsilon_{\max}$, а следовательно, и к наибольшему радиальному биению на коническом отверстии шпинделя. Однако эту схему расположения эксцентриситетов используют для достижения минимального биения вала между опорами, когда требуется

обеспечить качественное зацепление зубчатых колес.

Наиболее благоприятный вариант $\epsilon = \epsilon_{\min}$ имеет место, когда смещение в передней опоре меньше чем в задней $\epsilon_1 < \epsilon_2$ (рис. 11.18, б). Для достижения минимального биения на конце шпинделя необходимо подобрать подшипники так, чтобы эксцентриситеты их внутренних колец были равны соответствующим смещениям конического отверстия $\Delta_{A_2} = \Delta_{A_1}$, $\Delta_{B_2} = \Delta_{B_1}$. Кольца следует установить так, чтобы эксцентриситеты и смещения располагались в одной плоскости, но по разные стороны относительно оси вращения. Это позволит компенсировать погрешность

изготовления шпинделя. Затем в соответствии со схемой, представленной на рис. 11.18, б, необходимо добиться того, чтобы смещение в передней опоре было меньше, чем в задней. При этом смещения в опорах ε_1 , ε_2 следует расположить в одной плоскости и направить по одну сторону относительно оси вращения вала. Всего этого достигают путем соответствующего подбора внутренних колец подшипников и целенаправленного разворота их эксцентриситетов. Роль подвижных компенсаторов в этом случае выполняют звенья A_2 и B_2 .

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 программы 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. Целью испытания является выявление соответствия машины требованиям заказчика и в частности требованиям производительности – выпуск изделий в единицу времени, скорость проходки и т.д.

На жесткость испытывают главным образом станки. Нормы жесткости и методы испытания основных видов станков стандартизованы.

Испытаниям на мощность подвергают все машины в единичном производстве и все или выборочно машины, изготавливаемые серийно. В процессе испытаний с помощью специальных нагрузочных устройств в машине создают максимальные силы и моменты сил, которые могут возникнуть при эксплуатации машины. В результате определяют КПД машины.

Машины производящие, сортирующие, измеряющие проверяют на

качество производимой продукции. О качестве машины судят по результатам ее работы – 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 их узлов средних размеров и массы создают специальные испытательные стенды, которые оснащают необходимым диагностическим оборудованием.

11.4. Монтаж зубчатых и червячных передач

В соответствии со служебным назначением зубчатые передачи должны обладать прочностью, достаточной для передачи заданного окружного усилия, иметь необходимую кинематическую точность, требуемую плавность и бесшумность в работе.

Монтаж цилиндрических зубчатых передач

Согласно ГОСТ 1643-81 на цилиндрические зубчатые передачи установлено 12 степеней (1,2...6,7,8..11,12), где с уменьшением порядкового номера точность колеса возрастает. Выбор степени точности в первую очередь зависит от окружной скорости вращения колеса, с увеличением которой степень точности возрастает, что показано в приведенной таблице:

Скорость вращения, м/с	до 2	до 6	до 10	до 15
Степень точности	9	8	7	6

Для каждой степени точности установлены нормы точности:

- нормы кинематической точности, определяющие величину полной погрешности угла поворота зубчатого колеса за один оборот;
- нормы плавности, определяющие значение составляющих полной погрешности угла поворота зубчатого колеса, многократно повторяющихся в пределах поворота;
- нормы на контакт зубьев, определяющие размер и расположение пятна контактов двух сопрягаемых зубьев.

Для нормальной работы зубчатой передачи между боковыми поверхностями зубьев должен быть боковой зазор (рис. 11.19). Его наличие позволяет компенсировать температурные деформации при разо-

греве колес, погрешности сборки передачи и обеспечивает размещение смазки. Наименьшее допустимое значение бокового зазора $j_{n \min}$ называется гарантированным боковым зазором. Его величина выбирается исходя из служебного назначения передачи, допустимых кинематической погрешности, величины мертвого хода, ударной нагрузки при трогании и реверсе. Разность наибольшего допустимого бокового зазора $j_{n \max}$ и наименьшего определяет допуск $Tj_n = j_{n \max} - j_{n \min}$ на боковой зазор.

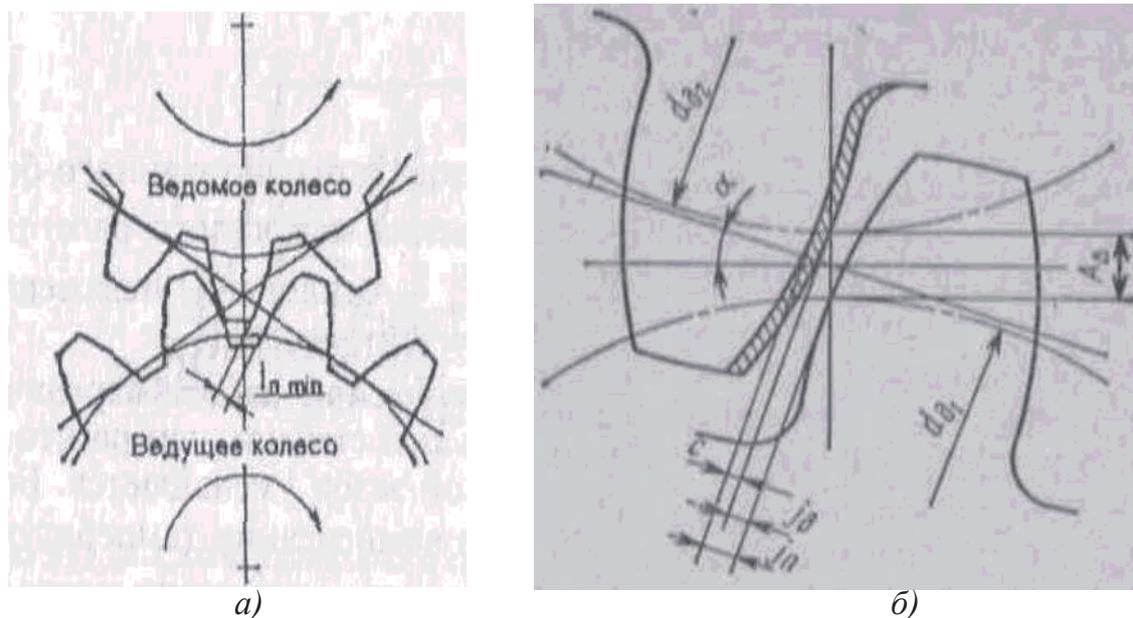


Рис. 11.19. Схема образования зазора между боковыми поверхностями зубьев: *а* – схема зацепления колес; *б* – схема к определению влияния толщины зуба и смещения исходного контура на величину бокового зазора; j_n – боковой зазор; j_d – часть бокового зазора, образуемая при смещении делительных окружностей; *с* – часть бокового зазора, образуемая при изменении толщины зуба

Согласно стандартам на цилиндрические и червячные передачи установлено 6 видов сопряжения *A, B, C, D, E, H*, которые определяют различные значения бокового зазора, включая увеличенный *A*, нормальный *B*, уменьшенный *C*, малый *D*, весьма малый *E* и нулевой *H*, и восемь видов допуска T_{jn} на боковой зазор, располагаемые в порядке возрастания: *h, d, c, b, a, z, y, x*.

Обозначение точности цилиндрических зубчатых колес и передач выполняют условной записью, например 7 - *C* ГОСТ 1643, где 7- обозначает степень точности передачи, которая в данном случае одинакова для всех трех норм, *C* – вид сопряжения. В тех случаях, когда конструктор назначает для трех норм различные степени точности, условную запись выполняют в следующем формате: 8-7-6 - *Va* ГОСТ 1643,

где 8 – степень по нормам кинематической точности, 7 – степень по нормам плавности, 6 – степень по нормам контакта зубьев, B – вид сопряжения, a – вид допуска на боковой зазор. Если вид сопряжения и вид допуска на боковой зазор определяются одинаковыми буквами, то в условной записи точности передачи обозначения вида допуска на боковой зазор не требуется.

В табл. 11.1 приведены значения гарантированного бокового зазора $j_{n \min}$, устанавливаемые согласно ГОСТ 1643 для цилиндрических зубчатых колес для модулей $m \geq 1$.

Таблица 11.1

Гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$ для цилиндрических зубчатых колес по ГОСТ 1643–81

Модуль m , мм	Обозначение отклонения	Вид сопряжения зубьев	Межосевое расстояние, мм								
			Св. 50 до 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800
			$m \geq 1$	$j_{n \min}$	H	0	0	0	0	0	0
		E	30	35	40	46	52	57	63	70	80
		D	46	54	63	72	81	89	97	110	125
		C	74	87	100	115	130	140	155	175	200
		B	120	140	160	185	210	230	250	280	320
		A	190	220	250	290	320	360	400	440	500

Формирование бокового зазора при сборке зубчатых колес зависит от толщины зубьев зацепляемых колес и от смещения в радиальном направлении делительного цилиндра одного колеса относительно делительного цилиндра другого (см. рис. 11.19). В соответствии с этим допуск на боковой зазор и координату середины поля допуска Δ_{0jn} можно представить двумя составляющими:

$$T_{jn} = T'_{jn} + T''_{jn}, \Delta_{0jn} = \Delta'_0 + \Delta''_0,$$

где T'_{jn} – часть допуска на боковой зазор, ограничивающая толщину зуба;

T''_{jn} – часть допуска на боковой зазор, ограничивающая смещение делительных цилиндров в радиальном направлении;

Δ'_0, Δ''_0 – координаты середины полей допусков T'_{jn} и T''_{jn} .

Толщина зуба (его утонение) зависит от точности нарезания зубчатого колеса на этапе технологии его изготовления. В свою очередь,

смещение делительных цилиндров в радиальном направлении возникает в процессе сборки. Расстояние между образующими двух делительных цилиндров, возникающее в результате радиального смещения колес, можно представить, как замыкающее звено размерной цепи A_{Δ} (рис. 11.20):

$$A_{\Delta} = -A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 - A_9,$$

где A_1 – радиус делительного цилиндра колеса; A_2 – смещение оси делительного цилиндра относительно оси базового отверстия; A_3 – смещение ступени вала относительно опорной шейки; A_4 – смещение оси опорной шейки относительно оси отверстия; A_5 – расстояние между осями отверстий в корпусе; A_6 – смещение оси опорной шейки относительно оси отверстия; A_7 – смещение ступени вала относительно опорной шейки; A_8 – смещение оси делительного цилиндра относительно оси базового отверстия; A_9 – радиус делительного цилиндра второго колеса.

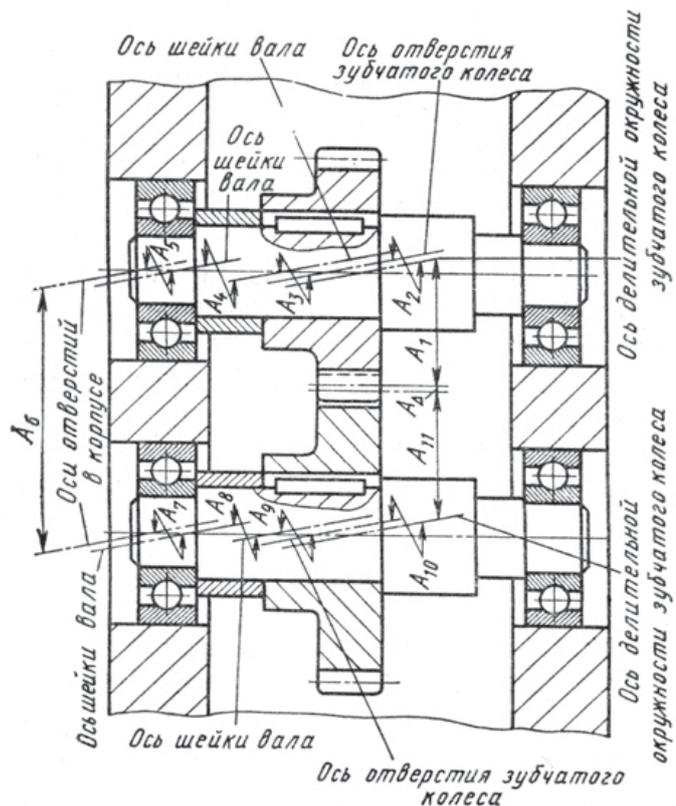


Рис.11.20. Схема размерной цепи A_{Δ} , определяющей расстояние между образующими делительных цилиндров двух зубчатых колес

Схема перехода от служебного назначения передачи к параметрам точности зацепления зубчатых колес ($j_n, T_{jn}, \Delta_{0jn}$), к допускам, ограничивающим отклонения толщины зуба (T'_{jn}, Δ'_{0jn}) и смещение делительных цилиндров (T''_{jn}, Δ''_{0jn}), и далее к допускам (T_{A1}, Δ_{01}) ... (T_{Ai}, Δ_{0i}) на составляющие звенья размерной цепи A_{Δ} показана на рис. 11.20.

Так как боковой зазор образуется по линии зацепления, положение которой в передаче определяет угол зацепления α , то переход к требованиям точности замыкающего звена A_{Δ} выполняют по формулам

$$T_{A\Delta} = T''_{jn} / \sin \alpha, \Delta_{0\Delta} = \Delta''_{0jn} / \sin \alpha.$$

Таким образом, качество работы зубчатой передачи зависит как от

точности изготовления зацепляемых колес, так и от точности изготовления деталей узла – корпуса, подшипников, валов, втулок, – определяющих положение колес. Сумма допусков T_i на составляющие звенья ($A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8$) не должна превышать отклонения межосевого расстояния f_{ar} , устанавливаемого согласно ГОСТу для конкретной передачи, а предельные суммарные отклонения этих звеньев Δ_{Σ}^B и Δ_{Σ}^H не должны превышать установленных предельных отклонений f_a, f_r межосевого расстояния: $\sum_{i=2}^{i=8} T_i \leq f_{ar}; \Delta_{\Sigma}^B = \sum_{i=2}^{i=8} \Delta_i^B \leq f_a; \Delta_{\Sigma}^H = \sum_{i=2}^{i=8} \Delta_i^H \leq f_r$

Допускаемые согласно ГОСТу отклонения межосевого расстояния для зубчатых колес с модулем $m \geq 1$ приведены в табл. 11.2.

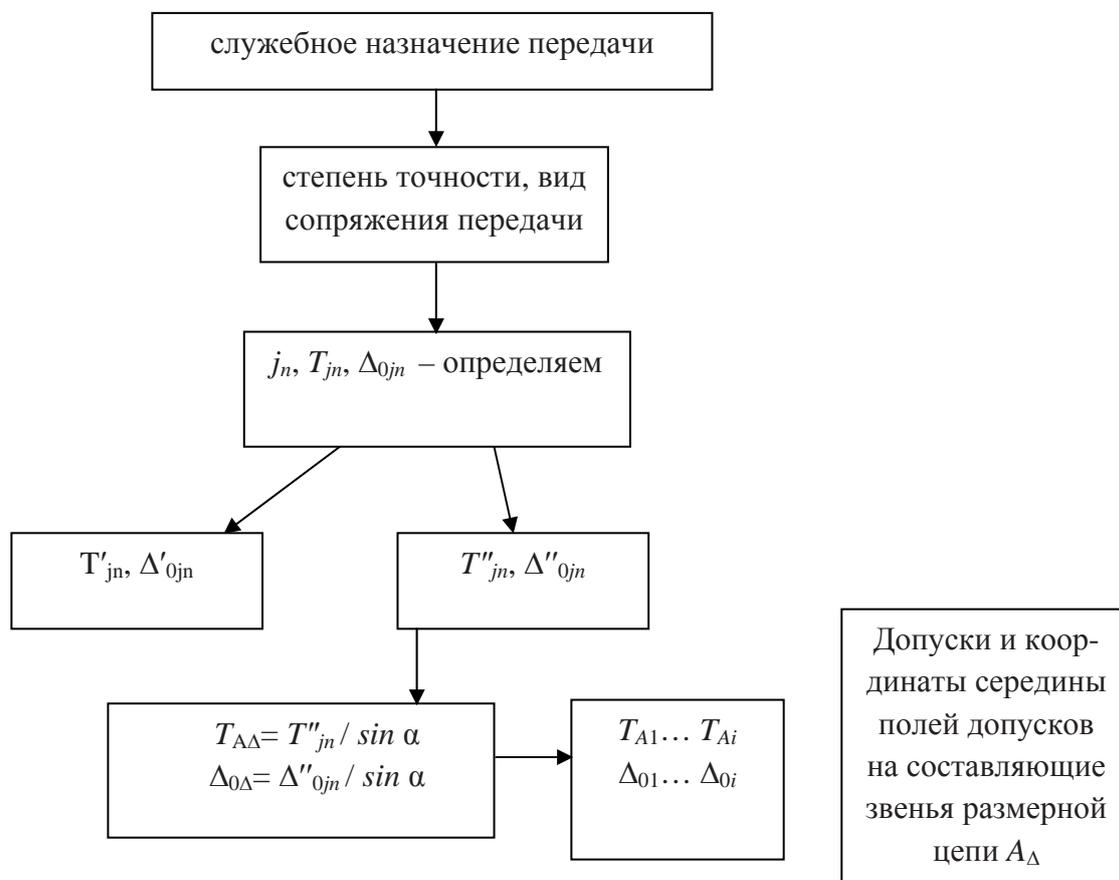


Рис. 11.21. Переход от служебного назначения передачи к параметрам точности зацепления зубчатых колес

Для обеспечения требований точности расположения осей передачи в пределах, указанных в табл. 11.2, необходимо, чтобы допуск T_5 на межосевое расстояние у корпусной детали (звено A_5) имел значения

$$T_5 \leq \pm f'_a = \pm 0,8 \cdot f_a.$$

В свою очередь, согласно требованиям ГОСТа, отклонения от параллельности осей отверстий корпуса в двух координатных плоскостях не должны превышать:

$$f(x) = 0,8f_x \frac{L}{b_c}; \quad f(y) = 0,8f_y \frac{L}{b_c},$$

где L – расстояние между средними плоскостями опор корпуса; b_c – среднее значение интервала ширины зубчатого венца, f_x и f_y – допускаемые предельные отклонения от параллельности осей зубчатых колес в двух координатных плоскостях.

Таблица 11.2

Отклонения межосевого расстояния по ГОСТ 1643–81

Мо- дуль m , мм	Обозна- чение отклоне- ния	Вид сопря- жения зубьев	Межосевое расстояние, мм								
			Св. 50	Св. 80	Св. 125	Св. 180	Св. 250	Св. 315	Св. 400	Св. 500	Св. 630
			до 80	до 125	до 180	до 250	до 315	до 400	до 500	до 630	до 800
$m \geq 1$	$\pm f_a$	H, E	± 15	± 18	± 20	± 23	± 26	± 28	± 32	± 35	± 40
		D	23	27	32	36	40	45	48	55	63
		C	37	43	50	58	65	70	78	88	100
		B	60	70	80	92	105	115	125	140	160
		A	95	110	125	145	160	180	200	220	250

Предельные отклонения от параллельности осей зубчатых колес в двух перпендикулярных плоскостях f_x и f_y , установленные согласно ГОСТу для колес 6...7 степеней точности, с нерегулируемым расположением осей приведены в табл. 11.3. Они определяются в мкм на длине, равной ширине зубчатого венца.

Таблица 11.3

Предельные отклонения от параллельности осей зубчатых колес f_x и f_y (мкм) для модулей m 1...16 мм согласно ГОСТ 1643-81

Степень точности	Обозначение допусков	Ширина зубчатого венца, мм					
		До 40	Св 40 до 100	Св 100 до 160	Св 160 до 250	Св 250 до 400	Св 400 до 630
6	f_x	10	12	12	19	24	28
	f_y	12	16	20	24	28	34
7	f_x	12	16	20	24	28	34
	f_y	6	8	10	12	14	17
8	f_x	20	25	32	38	45	55
	f_y	10	13	16	19	22	28
9	f_x	32	40	50	60	75	90
	f_y	16	20	25	30	38	45

Точность расположения осей зубчатых колес является важнейшим фактором обеспечения требуемой работоспособности передачи. Поэтому параметры точности корпуса, определяющие относительное положение осей отверстий, необходимо контролировать до начала сборки зубчатой передачи [20].

Установку зубчатых колес на вал осуществляют:

- по посадкам с натягом $H8/s7$, $H7/s6$, $H7/p6$, $H7/r6$, требующим значительных усилий запрессовки или нагрева колеса;
- по переходным посадкам $H7/n6$, $H7/m6$, $H7/k6$, $H7/js6$, $H8/k6$, требующим незначительных усилий запрессовки;
- по посадкам с малыми зазорами $H7/g6$, $H7/h6$, $H8/h8$, $H8/h9$, $H9/h8$;
- по посадкам с зазорами для передвигаемых вдоль оси или свободно вращающихся на валу колес $H7/f7$; $H8/f9$, $H7/e8$, $H8/e9$.

При сборке цилиндрических передач требуется обеспечить совпадение образующих делительных цилиндров A_{Δ} и правильное расположение пятна контакта, на которое влияет также смещение торцов зацепляемых колес K_{Δ} . Для широко применяемых зубчатых колес, изготавливаемых по 7, 8, 9 степеням точности, качество зацепления – кинематическая точность, плавность работы и нормы контакта зубьев – обеспечиваются методами полной или неполной взаимозаменяемости, последнее с небольшим коэффициентом риска. Для передач высокой степени точности 6, 5, 4 имеет место неполная взаимозаменяемость с увеличением коэффициента риска. Поэтому для достижения высокого качества зубчатой передачи осуществляют подбор пар колес по наилучшим параметрам их зацепления. При этом в собранном узле представляется возможным осуществить малую регулировку межцентрового расстояния за счет целенаправленного разворота эксцентриситетов наружных колец подшипников. Роль компенсаторов в этом случае выполняют наружные кольца подшипников звенья A_4 и A_6 . Уменьшения радиального биения колес достигают путем целенаправленного разворота эксцентриситетов внутренних колец подшипников по методике описанной в параграфе 11.4.

Подбор сопрягаемых пар осуществляют на стендах в процессе их контроля и обкатки, когда контролируют также уровень звукового давления и температуру нагрева. Обкатка колес обеспечивает приработку их поверхностей, повышение качества зацепления и улучшение КПД передачи. Точность совпадения торцов K_{Δ} обычно обеспечивается методом

полной взаимозаменяемости или методом регулировки (реже пригонкой) путем осевого относительного перемещения одного из колес.

Проверку качества зацепления зубчатых колес выполняют:

- 1) путем измерения бокового зазора с помощью щупа или по отпечатку мягкой свинцовой проволоочки, вставляемой между зубьями;
- 2) по углу свободного поворота одного колеса при заторможенном втором колесе;
- 3) по величине и расположению пятна контакта на боковой поверхности зуба, для чего краску наносят на колесо с меньшим числом зубьев, которая при вращении переносится на зубья другого колеса.

Угол свободного поворота колеса (угол «мертвого» хода) измеряют с помощью индикатора, который фиксирует перемещение поводка, закрепленного на поворачиваемом колесе, а затем пересчитывают на величину бокового зазора.

Суммарное пятно контакта, представляющее часть активной боковой поверхности зуба, на которой располагаются следы прилегания зубьев сопрягаемого колеса (рис. 11.22), оценивают в процентах относительными размерами:

$$\text{по длине } \frac{a-b}{c} \cdot 100\% \text{ и по высоте } \frac{h_{\text{cp}}}{h_3} \cdot 100\%,$$

где h_{cp} – средняя по длине зуба высота следов прилегания, h_3 – высота рабочей поверхности зуба.

Согласно ГОСТ 1643 суммарное пятно контакта должно составлять:

Степень точности	5	6	7	8	9
по длине, %	80	70	60	40	25
по высоте, %	60	50	45	30	20

Расположение пятна контакта на боковой поверхности зуба позволяет выявить погрешности монтажа зубчатой передачи (рис. 11.23). Смещение пятна контакта в сторону головки зуба (рис. 11.23, б) свидетельствует о наличии увеличенного бокового зазора. Причиной этому могут быть: уменьшенная толщина зубья на одном или обоих колесах; большее по сравнению с допустимым межосевое расстояние.

Смещение пятна контакта в сторону ножки зуба (рис. 11.23, в) говорит о наличии уменьшенного зазора между зубьями, причиной которому могут быть: увеличенная толщина зубьев на одном или обоих коле-

сах; меньшее по сравнению с допустимым межосевое расстояние.

В свою очередь, смещение пятна контакта в направлении левого или правого торца колеса (рис. 11.23, *г*) говорит о перекосе осей зубчатых колес, который порождает неравномерный боковой зазор. Причиной этому могут быть: смещение зубчатого венца относительно базового отверстия, перекос оси отверстия в корпусе или оси опорной шейки вала.

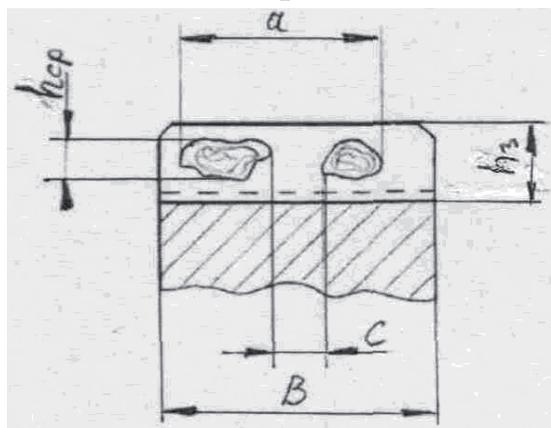


Рис. 11.22. Суммарное пятно контакта на боковой поверхности зубчатого колеса

Устранения выявленных отклонений достигают путем подбора колес и выполнения описанных выше регулировок. В результате достигают правильного зацепления колес, при котором пятно контакта располагается в середине зуба (рис. 11.23, *а*).

Особенности монтажа конических зубчатых передач

Согласно ГОСТ 1758-81 на конические зубчатые колеса предусмотрено 12 степеней точности и шесть видов сопряжения: *A, B, C, D, E, H*, определяющих величину бокового зазора от увеличенного *A* до нулевого *H* значения, и пять видов допусков T_{jn} на боковой зазор *a, b, c, d, h*, расположенных в порядке уменьшения допуска. Обозначение точности конических зубчатых колес и передач выполняют условной записью 7-С ГОСТ 1758. Для каж-

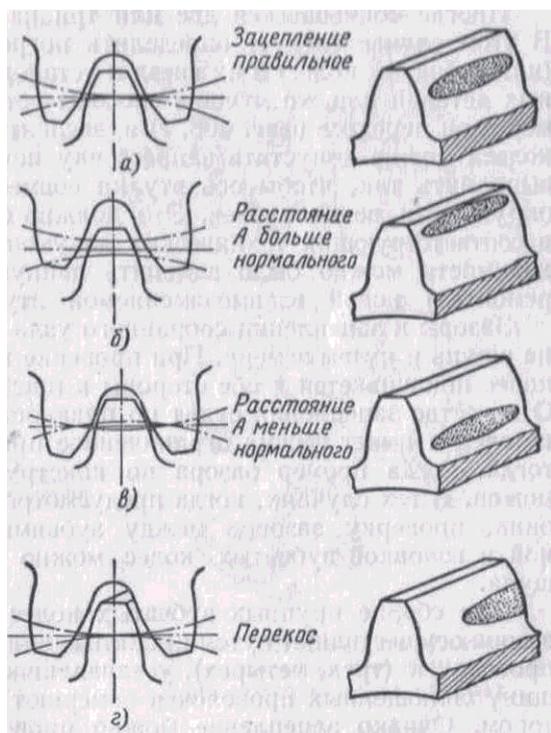


Рис. 11.23. Выявление погрешности монтажа зубчатых колес по расположению пятна контакта: *а* – правильное зацепление; *б* – увеличенный боковой зазор; *в* – уменьшенный боковой зазор; *г* – перекос осей зубчатых колес

дой степени точности также установлены нормы кинематической точ-

ности, плавности и контакта зубьев. При комбинированном назначении норм по различным степеням условная запись точности передачи принимает вид: 8-7-6-С ГОСТ 1758.

При сборке конических передач необходимо обеспечить следующие параметры точности, определяемые согласно ГОСТ 1758 (рис. 11.24):

- совпадение вершин делительных конусов зацепляемых колес в двух перпендикулярных направлениях f_{AMr1} и f_{AMr2} (рис. 11.24, а);
- точность межосевого угла Σ , который для ортогональной передачи составляет $\Sigma = 90^\circ$ (рис. 11.24, б);
- точность межосевого расстояния в передаче $\pm f_{ar}$.

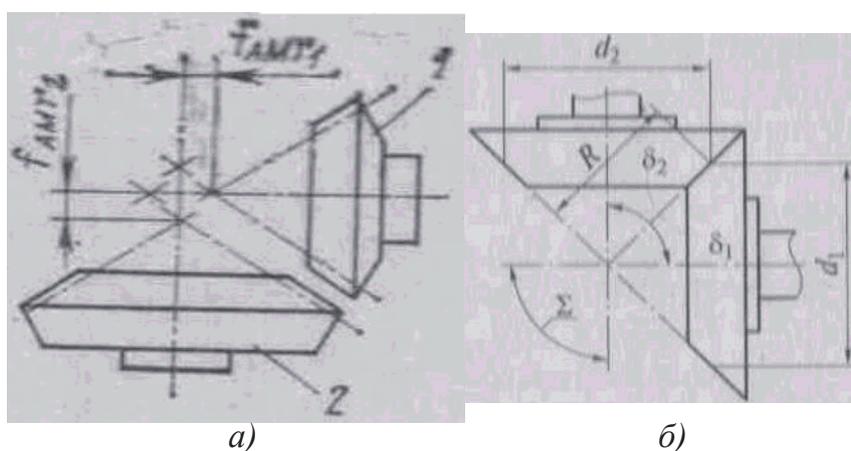


Рис. 11.24. Схемы к определению параметров геометрической точности конической передачи: а – осевые смещения вершин делительных конусов; б – схема к определению межосевого угла Σ , среднего конусного расстояния R средних делительных диаметров d_1, d_2 и углов делительных конусов δ_1, δ_2

Оси зубчатых колес в конических передачах располагаются в одной плоскости, поэтому номинальное значение межосевого расстояния равно нулю. Устанавливаемый согласно ГОСТу параметр $\pm f_{ar}$ определяет допускаемые предельные отклонения межосевого расстояния в конической передаче.

Соблюдение требуемой точности указанных параметров обеспечивает достижение гарантированного бокового зазора $j_{n \min}$, определяемого на среднем конусном расстоянии. В табл. 11.4 приведены значения гарантированного бокового зазора $j_{n \min}$ и предельные отклонения межосевого угла $E\Sigma$, устанавливаемые согласно ГОСТ 1758, для конических и гипоидных передач.

Таблица 11.4

Гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$ и предельные отклонения межосевого угла E_{Σ} в конических и гипоидных передачах с мм

Обозначение зазоров и отклонений	Вид сопряжения	Среднее конусное расстояние R , мм											
		До 50			Св. 50 до 100			Св. 100 до 200			Св. 200 до 400		
		Угол делительного конуса зубчатого колеса $\delta \dots^\circ$											
		до 15	15 – 25	св. 25	до 15	15 – 25	св. 25	до 15	15 – 25	св. 25	до 15	15 – 25	св. 25
$j_{n \min}$	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E	15	21	25	21	25	30	25	35	40	30	46	52
	D	22	33	39	33	39	46	39	54	63	46	72	81
	C	36	52	62	52	62	74	62	87	100	74	115	130
	B	58	84	100	84	100	120	100	140	160	120	185	210
	A	90	130	160	130	160	190	160	220	250	190	290	320
$\pm E_{\Sigma}$	H,E	7,5	10	12	10	12	15	12	17	20	15	24	26
	D	11	16	19	16	19	22	19	26	32	22	36	40
	C	18	26	30	26	30	32	30	45	50	32	56	63
	B	30	42	50	42	50	60	50	71	80	60	90	100
	A	45	63	80	63	80	95	80	110	125	95	140	160

Рассмотрим методы достижения точности зацепления конической пары на примере сборки конической передачи, представленной на рис. (рис. 11.25). Определяемые согласно ГОСТу осевые смещения зубчатых венцов f_{AMr1} и f_{AMr2} можно представить как замыкающие звенья двух размерных цепей, определяющих совпадение вершин делительных конусов по горизонтали $A_{\Delta} = f_{AMr1}$ (см. рис. 11.25) и по вертикали $B_{\Delta} = f_{AMr2}$ (рис. 11.26). Выявление и расчет этих цепей позволяет установить детали узла, размеры которых оказывают непосредственное влияние на формирование точности зацепления конической передачи:

– совпадение вершин делительных конусов по горизонтали

$$A_{\Delta} = -A_1 - A_2 - A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8;$$

– совпадение вершин делительных конусов по вертикали

$$B_{\Delta} = -B_1 - B_2 - B_3 + B_4 + B_5 + B_6 + B_7 + B_8.$$

Приведенные уравнения позволяют выполнить расчет в номиналах и установить правильность номинальных размеров комплектующих деталей, поступающих на сборку:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{i=8} A_i = f_{AMr1} = 0 \quad \text{и} \quad B_{\Delta} = \sum_{i=1}^{i=8} B_i = f_{AMr2} = 0.$$

Исходными данными для расчета размерных цепей в допусках являются:

$$T_{\Delta} = 2 \cdot f_{\text{ДМ}}; \quad \Delta_{\Delta}^{\text{В}} = +f_{\text{ДМ}}; \quad \Delta_{\Delta}^{\text{Н}} = -f_{\text{ДМ}}; \quad \Delta_{0\Delta} = 0,$$

где $\pm f_{\text{ДМ}}$ – предельные осевые смещения зубчатых венцов.

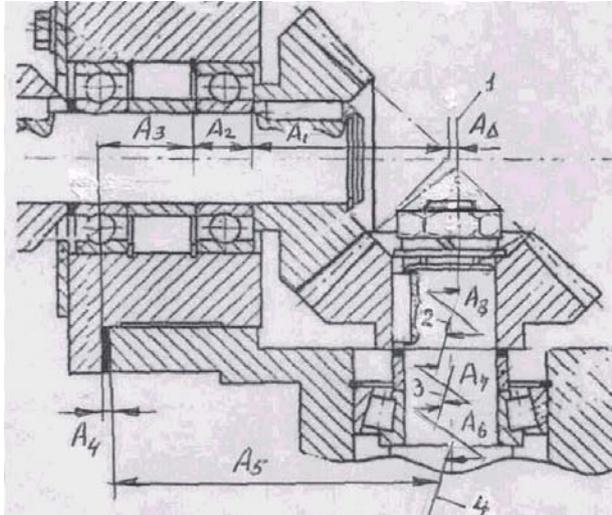


Рис. 11.25. Схема размерной цепи A_{Δ} , определяющей совпадение вершин делительных конусов по горизонтали: 1 – ось делительного конуса; 2 – ось базового отверстия колеса; 3 – ось опорной ступени вала; 4 – ось отверстия в корпусе под подшипник

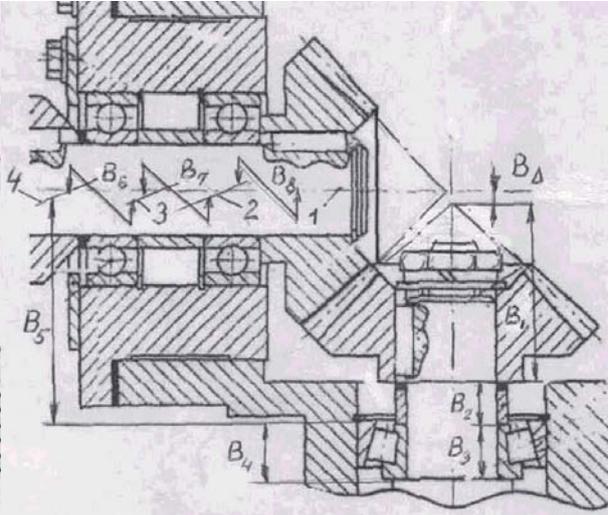


Рис. 11.26. Схема размерной цепи B_{Δ} , определяющей совпадение вершин делительных конусов по вертикали: 1 – ось делительного конуса; 2 – ось отверстия колеса; 3 – ось опорной шейки вала; 4 – ось отверстия в корпусе

Решение рассматриваемой задачи по методу полной взаимозаменяемости требует выполнения условий

$$T_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{i=8} T_{A_i} \quad \text{и} \quad T_{B_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{i=8} T_{B_i}$$

При этом согласно (4.7) и (4.8) значения предельных отклонений ($\Delta_i^{\text{В}}$, $\Delta_i^{\text{Н}}$) на составляющих звеньях в размерных цепях A_{Δ} и B_{Δ} должны соответствовать условию выполнения двух равенств:

$$\Delta_{\Delta}^{\text{В}} = \sum_{i=1}^{i=k} \bar{\Delta}_i^{\text{В}} - \sum_{i=k+1}^{i=m-1} \bar{\Delta}_i^{\text{Н}} \leq +f_{\text{ДМ}}; \quad \Delta_{\Delta}^{\text{Н}} = \sum_{i=1}^{i=k} \bar{\Delta}_i^{\text{Н}} - \sum_{i=k+1}^{i=m-1} \bar{\Delta}_i^{\text{В}} \geq -f_{\text{ДМ}}.$$

Требуемая точность совпадения вершин делительных конусов A_{Δ} , B_{Δ} при сборке может быть достигнута также методом регулировки с использованием неподвижного компенсатора или методом пригонки путем снятия с компенсатора слоя металла.

В размерных цепях A_{Δ} и B_{Δ} роль неподвижных компенсаторов могут выполнять звенья A_4 (кольцо) и B_2 (втулка). Величина компенсации T :

$$T_k = \sum_{i=1}^{i=m-1} T'_i - T_{\Delta}$$

где T'_i – расширенные, экономически целесообразные допуски на составляющих звеньях; T_Δ – требуемый допуск на замыкающем звене.

Расчет количества групп компенсаторов N и их размеров следует выполнять по методике изложенной в параграфе 11.4.

В случае применения метода пригонки необходимо оценить правильность размеров компенсаторов (звеньев A_4, B_2) на предмет наличия на них минимального, но достаточного слоя металла для компенсации наибольшего возможного отклонения T_k . Это необходимое условие обеспечивают путем внесения в координату середины поля допуска компенсатора поправки Δ_k , которая при $\Delta_{0\Delta} = 0$ составляет

$$\Delta_k = \sum_{i=1}^{i=m-1} \Delta_{oi} + \frac{T_k}{2}$$

где Δ_{oi} – координаты середины расширенных допусков $T_1 \dots T_{m-1}$.

Для выявления фактического положения вершины делительного конуса, с целью определения требуемого размера звена-компенсатора A_k , в процессе сборки выполняют измерения, схемы которых приведены на рис. 11.27. В одно отверстие монтируют вал с зубчатым колесом (рис. 11.27, а), а во второе устанавливают оправку (эталонный валик), на оси которой должна располагаться вершина делительного конуса. Затем с помощью мерных плиток измеряют расстояние Π от торца зубчатого колеса, выполняющего роль измерительной базы, до образующей оправки и рассчиты-

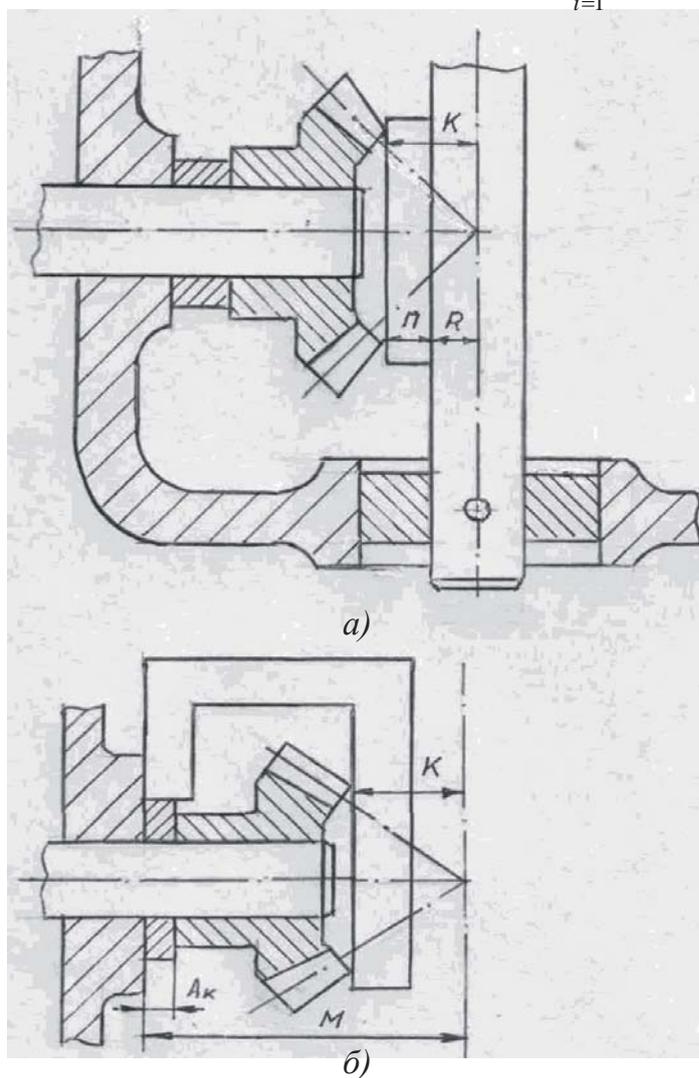


Рис. 11.27. Измерение положения вершины делительного конуса при сборке конической передачи: а – эталонного валика; б – с помощью плоского калибра

вают полученный размер K^* от торца до оси отверстия $K^* = \Pi + R$. По разности полученного размера K^* и требуемого K определяют смещение вершины делительного конуса: $\Delta_{\Delta} = f_{AM} = K^* - K = (\Pi + R) - K$.

Вторая схема измерения, приведенная на рис. 11.27, б, позволяет решить ту же задачу с использованием плоского шаблона (калибра), по которому выставляют зубчатое колесо в осевом направлении. Измерительной базой в этом случае является торцевая поверхность отверстия в корпусе, положение которой определено размером M относительно оси второго отверстия. Коническое колесо выставляют на требуемый размер K и измеряют расстояние A_K между торцом колеса и торцом корпуса. В соответствии с полученным размером A_K изготавливают или выбирают компенсатор и устанавливают его на вал $A_K = M - K$.

В табл. 11.5 приведены допускаемые по ГОСТ 1758 осевые смещения зубчатого венца $\pm f_{\text{дм}}$ для конических зубчатых передач с $m \geq 1$ мм.

Межосевой угол в конической передаче Σ также можно представить как замыкающее звено угловой размерной цепи $\beta_{\Delta} = \Sigma$ (рис. 11.28), выявление которой позволяет определить детали узла, угловые размеры которых оказывают непосредственное влияние на формирование точности межосевого угла:

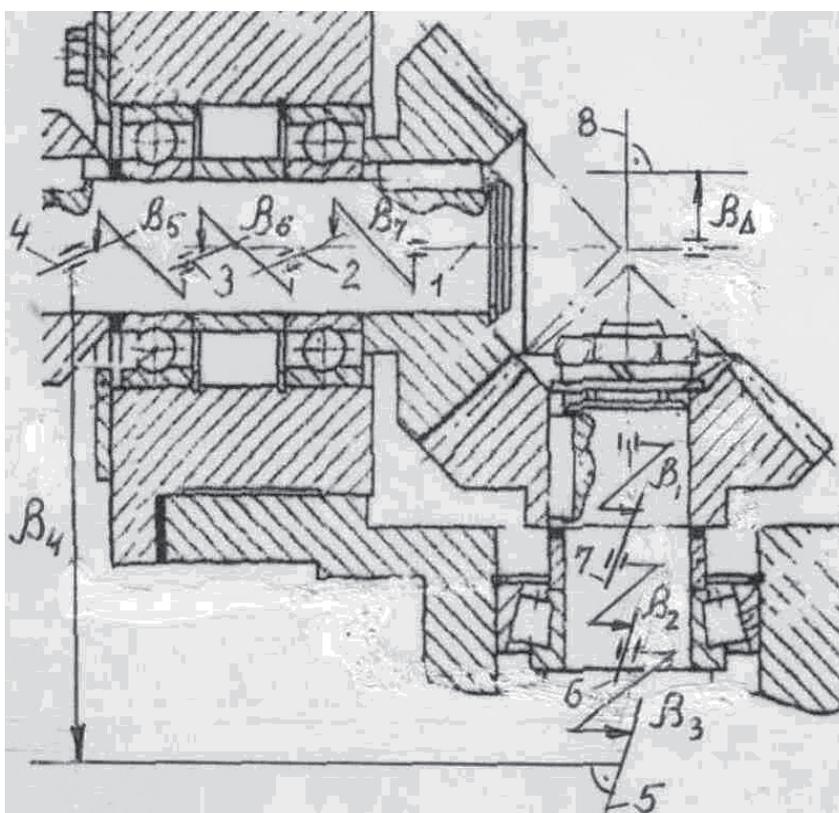


Рис. 11.28. Схема угловой размерной цепи β_{Δ} , определяющей угол скрещивания осей делительных конусов: 1 – ось делительного конуса; 2 – ось базового отверстия колеса; 3 – ось опорной ступени вала; 4 – ось отверстия в корпусе под подшипник; 5 – ось отверстия в корпусе под подшипник второго вала; 6 – ось опорной ступени второго вала; 7 – ось отверстия второго колеса; 8 – ось делительного конуса второго колеса

$$\beta_{\Delta} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_4 - \beta_5 - \beta_6 - \beta_7.$$

Расчет размерной цепи в номиналах позволяет оценить точность номинальных угловых размеров деталей, поступающих на сборку:

$$\beta_{\Delta} = \sum_{i=1}^{i=7} \beta_i = \Sigma = 90^{\circ}.$$

Исходными данными для расчета размерной цепи β_{Δ} в допусках являются допуск на замыкающем звене $T_{\beta_{\Delta}} = 2 \cdot E_{\Sigma r}$ и предельные отклонения: $T_{\beta_{\Delta}} = \Delta_{\beta_{\Delta}}^B - \Delta_{\beta_{\Delta}}^H$, верхнее $\Delta_{\beta_{\Delta}}^B = +E_{\Sigma r} / R$, нижнее $\Delta_{\beta_{\Delta}}^H = -E_{\Sigma r} / R$, где E_{Σ} – предельные отклонения межосевого угла в передаче, измеряемые на среднем конусном расстоянии R . Значения предельных отклонений межосевого угла, установленные стандартом, приведены в табл. 11.4.

Таблица 11.5

Нормы плавности работы конических передач с $m \geq 1$ м.

Предельные осевые смещения зубчатого венца $\pm f_{DM}$

Степень точности	Средний нормальный модуль m_n , мм	Среднее конусное расстояние R , мм								
		Св. 50...100			100...200			200...400		
		Угол делительного конуса зубчатого колеса δ , °								
		до 20	20 ... 45	св. 45	до 20	20 ... 45	св. 45	до 20	20 ... 45	св. 45
6	1...3,5	43	40	17	105	90	38	240	200	85
	3,5...6,3	26	22	9,5	60	50	21	130	105	45
	6,3...10	17	15	6	38	32	13	85	71	30
7	1...3,5	67	56	24	150	130	53	340	280	120
	3,5...6,3	38	32	13	80	71	30	180	150	63
	6,3...10	24	21	8,5	53	45	19	120	100	40
8	1...3,5	95	80	34	200	180	75	480	400	170
	3,5...6,3	53	45	17	120	100	40	250	210	90
	6,3...10	34	30	12	75	63	26	170	140	60
9	1...3,5	140	120	48	300	260	105	670	560	240
	3,5...6,3	75	63	26	160	140	60	360	300	130
	6,3...10	50	42	17	105	90	38	240	200	85

Рассматриваемая задача при сборке обычно решается методом полной взаимозаменяемости. Для данного примера это означает необходимость выполнения приведенных ниже равенств допусков и предельных отклонений: $T_{\beta_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{i=7} T_{\beta_i}$

$$\Delta_{\beta_{\Delta}}^B = \sum_{i=1}^{i=3} \bar{\Delta}_i^B - \sum_{i=4}^{i=7} \bar{\Delta}_i^H \geq +E_{\Sigma r} \text{ или } \Delta_{\beta_{\Delta}}^B = \bar{\Delta}_1^B + \bar{\Delta}_2^B + \bar{\Delta}_3^B - \bar{\Delta}_4^H - \bar{\Delta}_5^H - \bar{\Delta}_6^H - \bar{\Delta}_7^H \leq +E_{\Sigma r}$$

$$\Delta_{\beta\Delta}^H = \sum_{i=1}^{i=3} \bar{\Delta}_i^H - \sum_{i=4}^{i=7} \bar{\Delta}_i^B \geq -E_{\Sigma r} \text{ или } \Delta_{\beta\Delta}^H = \bar{\Delta}_1^H + \bar{\Delta}_2^H + \bar{\Delta}_3^H - \bar{\Delta}_4^B - \bar{\Delta}_5^B - \bar{\Delta}_6^B - \bar{\Delta}_7^B \leq +E_{\Sigma r}.$$

Целенаправленный разворот эксцентриситетов наружных колец подшипников, расположенных в опорах валов, позволяет в определенных пределах компенсировать отклонения межосевого угла конической передачи.

Проверку качества зацепления конических зубчатых колес выполняют путем измерения бокового зазора с помощью щупа или по отпечатку мягкой свинцовой проволоочки, по углу свободного поворота одного колеса при заторможенном втором и по величине расположения пятна контакта на боковой поверхности зуба. Расположение пятна контакта при правильном зацеплении колес показано на рис. 11.29. При работе передачи под нагрузкой пятно контакта должно быть расположено в середине зуба (рис. 11.29, а), а при работе без нагрузки, когда упругие деформации в зацеплении уменьшаются, оно смещается в направлении вершины делительного конуса (рис. 11.29, б).

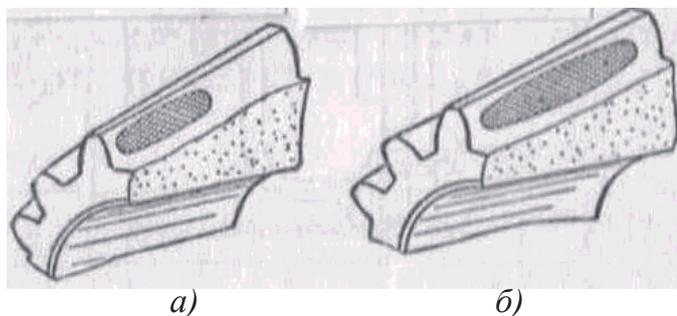


Рис. 11.29. Расположение пятна контакта на боковой поверхности зуба конического колеса: а – при работе без нагрузки; б – при работе под нагрузкой

Относительные размеры суммарного пятна контакта в процентах и их предельные отклонения приведены в табл. 11.6.

Таблица 11.6.

Нормы контакта зубьев в конических и гипоидных передачах, мм согласно ГОСТ 1758-81

Степень точности	По длине зубьев, %		По высоте зубьев, %	
	Относительный размер пятна контакта, не менее	Предельные отклонения	Относительный размер пятна контакта, не менее	Предельные отклонения
4...5	65...80	± 10	75...90	± 10
6...7	60...75	± 10	75...90	± 10
8...9	50...70	± 15	70...85	± 15

Особенности монтажа червячных передач

В соответствии со служебным назначением червячные передачи бывают цилиндрические и глобоидные. Согласно ГОСТ 3675-81 на червячные передачи предусмотрено 12 степеней точности, шесть видов сопряжения *A, B, C, D, E, H* и восемь видов допусков на боковой зазор *h, d, c, b, a, z, y, x*, расположенных в порядке возрастания допуска. Соотношение между видом сопряжения и видом допуска на боковой зазор можно изменять, при этом могут быть использованы также виды допуска *x, y, z*. Для каждой степени точности установлены нормы кинематической точности, плавности и нормы контакта зубьев. Обозначение точности передачи осуществляется аналогично обозначению цилиндрических колес: 8-7-6 *Va* ГОСТ 3675-81.

В соответствии со служебным назначением червячные передачи разделяют на кинематические, которые изготавливают по 3...6 степеням точности, и силовые, изготавливаемые по 5...9 степеням точности.

Для достижения требуемых параметров качественного зацепления червячной пары необходимо в процессе сборки обеспечить создание заданного гарантированного бокового зазора $j_{n \min}$ между винтовой поверхностью червяка и боковыми поверхностями зубьев колеса. Значения гарантированного бокового зазора, определяемые для червячных передач согласно ГОСТ 3675-81, приведены в табл. 11.7.

Таблица 11.7

Гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$, мкм,
для червячных передач с $m > 1$ мм

Вид сопряжения	Межосевое расстояние, мм			
	до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250
H	0	0	0	0
E	30	35	40	46
D	46	54	63	72
C	74	87	100	115
B	120	140	160	185
A	190	220	250	290

На формирование требуемой точности бокового зазора влияет:

– толщина зубьев колеса и витков червяка, получаемые при их нарезании на операциях механообработки;

- смещение образующих делительных цилиндров червяка и червячного колеса, которое формируется в процессе сборки;
- отклонение расположения средней плоскости червячного колеса относительно оси червяка, которая также формируется на этапе сборки;
- точность поворота оси делительного цилиндра колеса относительно оси делительного цилиндра червяка, достигаемая при сборке передачи.

Таким образом, достижение требуемой точности бокового зазора зависит как от точности изготовления червяка и червячного колеса, так и от точности сборки червячной передачи. На рис. 11.30 показаны параметры геометрической точности червячной передачи, формируемые

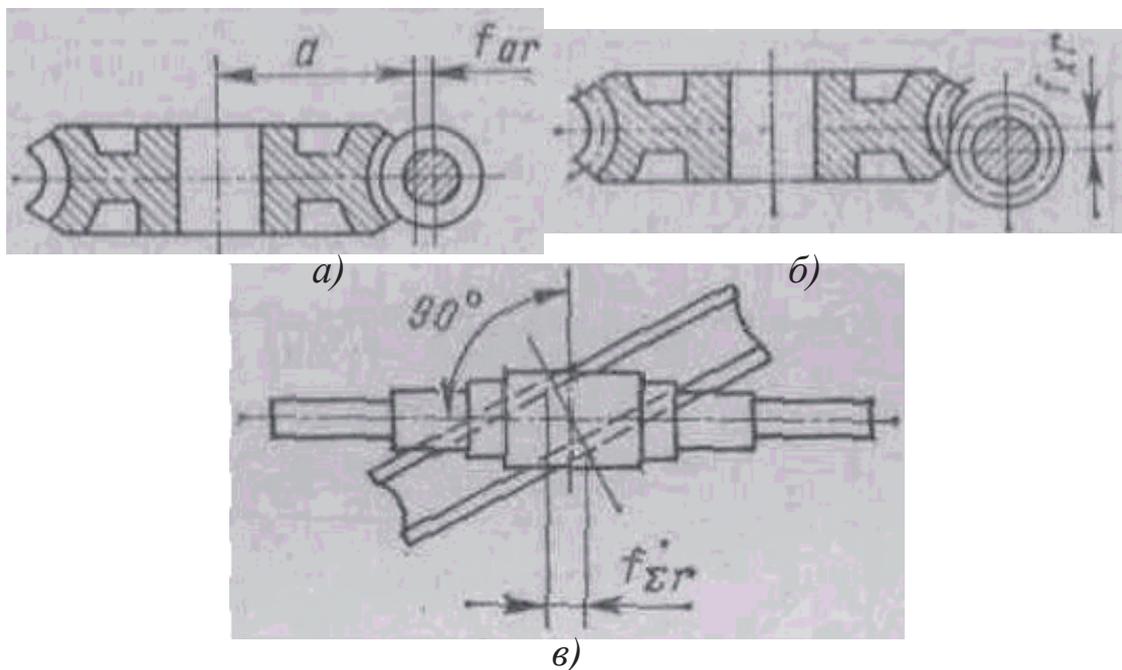


Рис. 11.30. Параметры точности собранной червячной передачи, определяемые согласно ГОСТ 3675-81: *a* – точность межосевого расстояния; *б* – точность положения средней плоскости червячного колеса относительно оси червяка; *в* – точность межосевого угла передачи

в процессе ее сборки. Согласно стандарту отклонение межосевого расстояния f_{ar} (предельные $\pm f_a$) определяется как разность действительного и номинального межосевых расстояний a в собранной передаче (рис. 11.30, *a*). Смещение средней плоскости червячного колеса относительно оси червяка f_{xr} (предельные $\pm f_x$) определяется как расстояние между этой плоскостью и параллельной плоскостью, проходящей через ось червяка (рис. 11.30, *б*). В свою очередь, отклонения межосевого угла передачи $f_{\Sigma r}$ (предельные $\pm f_{\Sigma}$) определяются как разность меж-

ду действительным и номинальными межосевыми углами (рис. 11.30, в). Отклонения межосевого угла $f_{\Sigma r}$ выражаются в линейных величинах на ширине зубчатого венца колеса.

Рассмотрим причины формирования отклонений и возможные методы достижения точности зацепления червяка и червячного колеса на примере сборки червячной передачи, представленной на рис. 11.31.

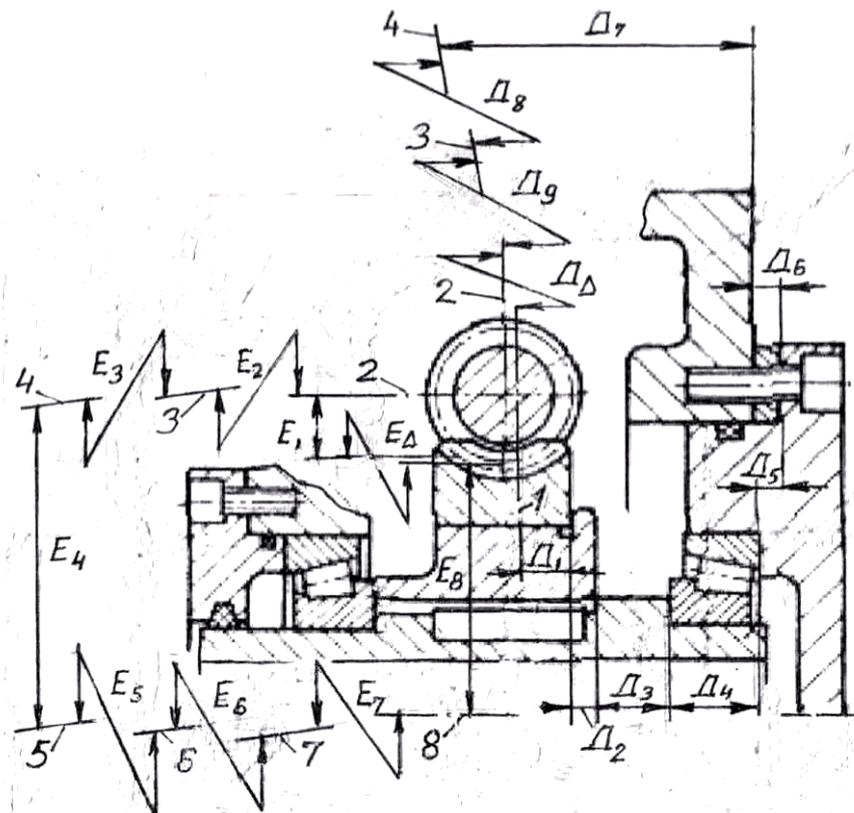


Рис. 11.31. Размерные связи, определяющие параметры точности червячной передачи, достигаемые в процессе сборки: 1, 2 – средняя плоскость червячного колеса и параллельная ей плоскость, проходящая через ось делительного цилиндра червяка; 3, 4 – ось опорной шейки червяка и ось отверстия в корпусе; 5, 6 – ось отверстия в корпусе под вал колеса и ось опорной шейки вала; 7, 8 – ось ступени вала и ось делительного цилиндра колеса

Технология сборки представленной червячной передачи включает:

- сборку червячного колеса со ступицей (при составном колесе);
- установку червячного колеса со ступицей и подшипниками на вал;
- монтаж вала в сборе с колесом в корпус с установкой двух крышек;
- монтаж червяка и его подшипников в корпус;
- регулировку осевого положения колеса и зазоров в подшипниках.

Смещение образующих делительных цилиндров червяка и червяч-

ного колеса можно представить как замыкающее звено размерной цепи $E_{\Delta} = 0$:

$$E_{\Delta} = -E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_7 - E_8.$$

Составляющими звеньями цепи являются размеры деталей, которые непосредственно определяют точность положения червяка и червячного колеса. Отклонения, возникающие на каждом из звеньев, зависят от точности изготовления соответствующей детали узла:

Звено цепи	Сущность определяемого размера детали узла	Точность изготовления деталей
E_1	Радиус делительного цилиндра червяка	Точность червяка
E_2	Смещение оси делительного цилиндра червяка относительно оси опорной шейки	
E_3	Смещение оси опорной шейки червяка относительно оси отверстия в корпусе	Точность подшипника
E_4	Расстояние между осями двух отверстий в корпусе	Точность корпуса
E_5	Смещение оси опорной шейки полого вала относительно оси отверстия в корпусе	Точность подшипника
E_6	Смещение оси ступени полого вала относительно его опорной шейки	Точность полого вала
E_7	Смещение оси делительного цилиндра червячного колеса относительно оси его базового отверстия	Точность червячного колеса
E_8	Радиус делительного цилиндра червячного колеса	

Численные значения предельных отклонений межосевого расстояния в червячных передачах $\pm f_a$, определяемые стандартом, приведены в табл. 11.8.

Таблица 11.8

Предельные отклонений межосевого расстояния
в червячных передачах $\pm f_a$ по ГОСТ 3675-81

Степень точности	Межосевое расстояние, мм			
	до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250
	$\pm f_a$ мкм			
4	11	13	15	17
5	18	20	24	26
6	28	32	38	42
7	45	50	60	67
8	71	80	90	105
9	110	130	150	160

Если приведенные отклонения отнести к замыкающему звену размерной цепи $E_{\Delta} = 0$, то можно записать

$$T_{\Delta} = 2 \cdot f_a; \quad \Delta_{\Delta}^B = +f_a; \quad \Delta_{\Delta}^H = -f_a; \quad \Delta_{0\Delta} = 0.$$

При этом рекомендуется, чтобы сумма допусков на звеньях (E_2, \dots, E_7), определяющих относительное положение червяка и червячного колеса, не превышала $0,75 T_{\Delta}$.

Для червячных передач с нерегулируемым межосевым расстоянием, изготавливаемых по 6, 7, 8, 9 степеням точности, требуемое совпадение образующих делительных цилиндров червяка и червячного колеса обычно достигается методами полной или неполной взаимозаменяемости. При этом с увеличением точности коэффициент риска возрастает. Поэтому для передач высокой степени точности 6, 5, 4 осуществляют подбор на стандах червячных пар по наилучшим параметрам их зацепления. Подбор выполняют на стандах в процессе проверки качества зацепления и приработки червячной пары. Для червячных передач с регулируемым межосевым расстоянием, применяемых, например, в делительных кинематических цепях зуборезных станков, точность межосевого расстояния (совпадения образующих делительных цилиндров червяка и колеса) достигается методом регулировки путем относительного радиального смещения червяка.

Приведенная на рис. 11.31 размерная цепь D_{Δ} определяет совмещение средней плоскости червячного колеса 1 с осью червяка 2:

$$D_{\Delta} = -D_1 - D_2 - D_3 - D_4 - D_5 + D_6 + D_7 + D_8 + D_9.$$

Расчет размерной цепи в номиналах $D_{\Delta} = \sum_{i=1}^{i=9} D_i f_{xr} = 0$ позволяет оценить правильность назначения номинальных размеров на детали, которые непосредственно определяют относительное осевое положение червячного колеса, и учесть их при входном контроле на сборку.

Отклонения, возникающие на замыкающем звене D_{Δ} , зависят от точности изготовления деталей узла, входящих в размерную цепь. Расчет размерной цепи в допусках выполняют на основе исходных данных

$$T_{\Delta} = 2 \cdot f_x; \quad \Delta_{\Delta}^B = +f_a; \quad \Delta_{\Delta}^H = -f_a; \quad \Delta_{0\Delta} = 0.$$

где $\pm f_x$ – предельные смещения средней плоскости червячного колеса, определяемые согласно ГОСТ 3675–81 (табл. 11.9).

Предельные смещения средней плоскости червячного колеса
в червячной передаче $\pm f_x$ по ГОСТ 3675–81

Вид сопряжения	Межосевое расстояние, мм			
	до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250
Н	0	0	0	0
Е	30	35	40	46
Д	46	54	63	72
С	74	87	100	115
В	120	140	160	185
А	190	220	250	290

Для решения размерной цепи D_{Δ} по методу полной взаимозаменяемости требуется обеспечить:

$$T_{D_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{i=9} T_{D_i}; \quad \Delta_{D_{\Delta}}^B = \sum_{i=6}^{i=9} \bar{\Delta}_i^B - \sum_{i=1}^{i=5} \bar{\Delta}_i^H \leq +f_x; \quad \Delta_{D_{\Delta}}^H = \sum_{i=6}^{i=9} \bar{\Delta}_i^H - \sum_{i=1}^{i=5} \bar{\Delta}_i^B \geq -f_x.$$

Требуемое совмещение средней плоскости червячного колеса с осью червяка $T_{D_{\Delta}}$ может быть достигнуто также методом регулировки с использованием неподвижного компенсатора или методом пригонки путем снятия с компенсатора слоя металла (см. параграф 4.4. Ч.1 данного учебника). В качестве компенсатора может быть выбрано кольцо – звено D_6 и ступица колеса – звено D_2 . Изменение размера компенсатора позволяет переместить зубчатое колесо вместе с валом в осевом направлении на требуемую величину.

Контроль качества зацепления червячной пары осуществляют по плавности и легкости вращения передачи. Измерение бокового зазора выполняют с помощью щупа или по углу свободного поворота (мертвого хода) червяка до момента начала вращения колеса. С этой целью на червяк устанавливают градуированный диск, по которому измеряют угол свободного поворота червяка, а с помощью установленного индикатора фиксируют момент начала вращения колеса.

Контроль качества зацепления по расположению пятна контакта на боковой поверхности зуба червячного колеса позволяет оценить смещение средней плоскости колеса относительно оси червяка. При этом краску наносят на винтовую поверхность червяка, которая затем при вращении переносится на зуб колеса. Возможные варианты расположения пятна контакта на боковой поверхности зуба колеса показаны на рис. 11.32. При правильном зацеплении имеет место равномерный боковой зазор и пятно контакта располагается симметрично (рис. 11.32, б). В случае смеще-

ния колеса влево (рис. 11.32, а) или направо (рис. 11.32, в) возникает неравномерный боковой зазор и пятно контакта соответственно смещается в сторону правого или левого торца колеса.

В процессе контроля по краске определяют также относительные размеры суммарного пятна контакта по высоте и длине. Полученные значения сравнивают с допустимыми отклонениями, установленными стандартом (табл. 11.10).

Таблица 11.10

Суммарное пятно контакта в червячной передаче по ГОСТ 3675–81

Степень точности	Суммарное пятно контакта, %			
	по высоте		по длине	
	Относительные размеры	Допустимое отклонение	Относительные размеры	Допустимое отклонение
4 – 5	75	– 10	70	– 10
6 – 7	65	– 10	60	– 10
8 – 9	55	– 15	50	– 15

На положение пятна контакта оказывает влияние также отклонение межосевого угла передачи, предельные отклонения которого $\pm f_{\Sigma}$ регламентирует стандарт на червячные передачи (табл. 11.11).

Таблица 11.11

Предельные отклонения межосевого угла червячной передачи $\pm f_{\Sigma}$ (мкм) по ГОСТ 3675-81

Ширина зубчатого венца червячного колеса, мм	Степень точности					
	4	5	6	7	8	9
	\pm , мкм					
до 63	6,0	7,1	9	12	16	22
63 ... 100	7,5	9,5	12	17	22	28
100...160	11	13	17	24	30	40

Для определения деталей узла, угловые размеры которых оказывают влияние на формирование точности межосевого угла передачи, необходимо выявить угловую размерную цепь β_{Δ} , замыкающим звеном которой является межосевой угол $\beta_{\Delta} = \Sigma = 90^{\circ}$. Составляющими звеньями такой цепи являются угловые размеры, которые определяют параллельность осей ступеней вала колеса и червяка, а также угол между осями двух отверстий в корпусе. Отклонения от перпендикулярно-

сти осей отверстий в корпусе под вал колеса и под червяк не должны превышать $0,75 f_{\Sigma}$.

Для червячных передач с нерегулируемым межосевым расстоянием, изготавливаемых по 6, 7, 8, 9 степеням точности, требуемый межосевой угол β_{Δ} обычно получают методами полной или неполной взаимозаменяемости с небольшим коэффициентом риска, который

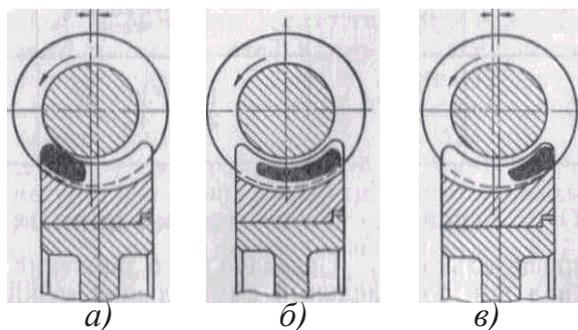


Рис. 11.32. Расположение пятна контакта на боковой поверхности зуба колеса: *а* – колесо смещено влево; *б* – правильное зацепление; *в* – колесо смещено вправо

возрастает с увеличением степени точности передачи. При этом имеется возможность осуществить малую регулировку относительного углового положения осей. С этой целью выполняют целенаправленный разворот эксцентриситетов наружных колец подшипников в опорах червяка и червячного колеса.

Проверка качества зацепления передачи по величине крутящего момента на червяке, величине бокового зазора, величине суммарного пятна контакта и его расположения на боковой поверхности зуба позволяет в комплексе оценить точность изготовления и сборки деталей червячной передачи с учетом ряда показателей, относящихся к различным нормам точности.

11.5. Автоматизация технологического процесса сборки

Для сборочных процессов характерно большое разнообразие выполняемых операций и их высокая точность, достижение которой определяет качество выпускаемых изделий. Согласно статистике трудоемкость сборочных операций составляет 20 – 60 % от общей трудоемкости изготовления изделий. Поэтому автоматизация сборки является актуальной технологической задачей [11, 19].

Автоматическое соединение двух деталей достигается при придании им определенного пространственного положения и относительного движения. Требуемое соотношение параметров относительного положения и движения соединяемых деталей, при которых обеспечивается их автоматическое соединение, называется условием собираемости. Для условий соединения различных деталей эти параметры выявляют из состав-

ляющих двух векторов: вектора положения $\Delta_k = (\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z, \Delta_\lambda, \Delta_\beta, \Delta_\gamma)$ координатной системы поверхности присоединяемой детали относительно

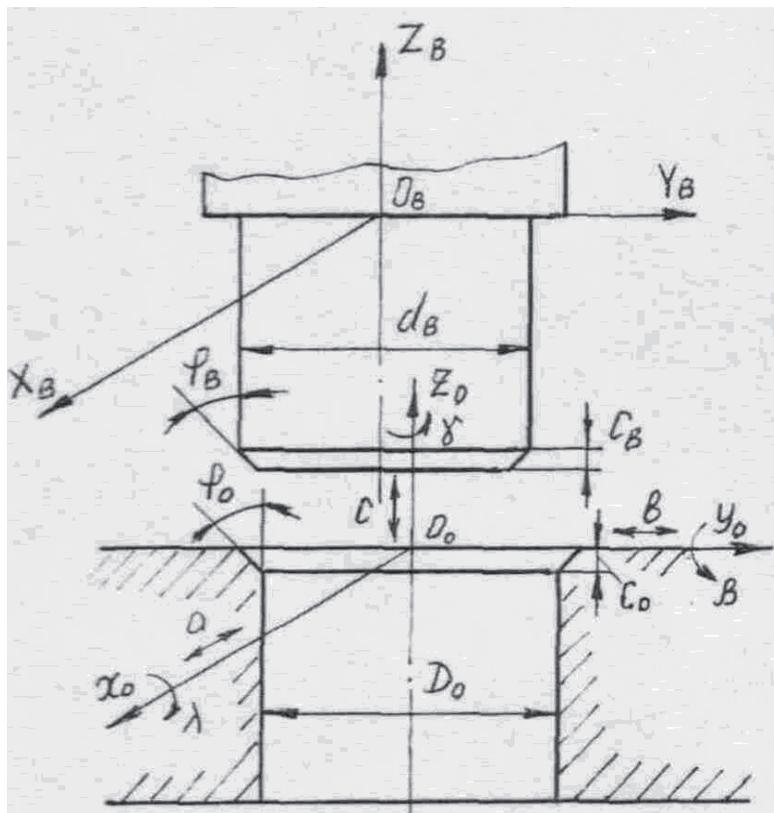


Рис.11.33. Установка вала в отверстие корпуса

поверхности базовой детали; вектора линейных и угловых относительных перемещений $\eta = (a, b, c, \lambda, \beta, \gamma)$ соединяемых деталей.

Рассмотрим это на примере установки вала (система $X_B Y_B Z_B$) в отверстие корпуса (система $x_o y_o z_o$), что показано на рис. 11.33. Для автоматического соединения необходимо обеспечить совмещение центра торца вала d_b с центром отверстия корпуса D_o ,

которое не должно превышать половины наименьшего зазора в соединении $0,5 S_{\text{нм}}$:

$$\Delta_c + \Delta_{\text{II}} \leq 0,5 \cdot S_{\text{нм}}, \quad (11.8)$$

где Δ_c и Δ_{II} – отклонения центра вала, обусловленные его смещениями и поворотами относительно отверстия;

$S_{\text{нм}}$ – наименьший зазор: $S_{\text{нм}} = D_o - d_b$.

Отклонения центра вала, возникающие в результате смещений в направлениях и двух координатных осей Δ_x, Δ_y и относительных поворотов $\Delta_\lambda, \Delta_\beta$, определяются выражениями

$$\Delta_c = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} = \Delta_{x,y} \sqrt{2}; \quad (11.9)$$

и

$$\Delta_{\text{II}} = Z \cdot \Delta_\phi = Z \sqrt{\Delta_\lambda^2 + \Delta_\beta^2} = Z \cdot \Delta_{\lambda,\beta} \sqrt{2}. \quad (11.10)$$

С учетом (11.9) и (11.10) выражение (11.8), определяющее условие собираемости рассматриваемого соединения, принимает вид

$$\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} + Z\sqrt{\Delta_\lambda^2 + \Delta_\beta^2} \leq S_{\text{нм}} \quad (11.11)$$

и при $\Delta_x = \Delta_y = \Delta_{x,y}$ и $\Delta_\lambda = \Delta_\beta = \Delta_{\lambda,\beta}$ получим

$$\sqrt{2} \cdot (\Delta_{x,y} + Z \cdot \Delta_{\lambda,\beta}) \leq 0,5 \cdot S_{\text{нм}} \quad (11.12)$$

ИЛИ

$$(\Delta_{x,y} + Z \cdot \Delta_{\lambda,\beta}) \leq 0,35 \cdot S_{\text{нм}}. \quad (11.13)$$

В соответствии с этим при равном ограничении линейных и угловых параметров ($\Delta_{x,y} = Z \cdot \Delta_{\lambda,\beta}$) требования к точности относительного положения устанавливаемого вала составят

$$\pm \Delta_x = 0,17 \cdot S_{\text{нм}}; \quad \pm \Delta_y = 0,17 \cdot S_{\text{нм}}; \quad \pm \Delta_\lambda = 0,17 \cdot S_{\text{нм}}/Z; \quad \pm \Delta_\beta = 0,17 \cdot S_{\text{нм}}/Z.$$

Для расширения условий собираемости на соединяемых цилиндрических поверхностях вала и корпуса создают фаски, которые при возможности малых перемещений вала относительно корпуса позволяют осуществить самоустановку вала в отверстие. Эта малая саморегулировка в пределах клиновой пары двух фасок обеспечивает пассивную адаптацию, которая широко применяется при автоматической сборке. Расширение условий собираемости в данном случае адекватно увеличению зазора $S_{\text{нм}}$ на величину:

$$P = C_o \cdot \text{tg}\varphi_o + C_b \cdot \text{tg}\varphi_b, \quad (11.14)$$

где C_o , C_b и φ_o , φ_b – соответственно ширина и углы наклона фасок в отверстии и на валике.

С учетом (11.14) условие собираемости (11.11) принимает вид

$$\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} + Z\sqrt{\Delta_\lambda^2 + \Delta_\beta^2} \leq S_{\text{нм}} + C_o \cdot \text{tg}\varphi_o + C_b \cdot \text{tg}\varphi_b \quad (11.15)$$

В соответствии с этим допускаемые расширенные параметры точности положения устанавливаемого вала можно рассчитать по формулам:

$$\text{– линейные: } \pm \Delta_x = 0,17(S_{\text{нм}} + P); \quad \pm \Delta_y = 0,17 \cdot (S_{\text{нм}} + P); \quad (11.16)$$

$$\text{– угловые: } \pm \Delta_\lambda = 0,17(S_{\text{нм}} + P)/Z; \quad \pm \Delta_\beta = (S_{\text{нм}} + P)/Z. \quad (11.17)$$

Полученные значения ($\pm \Delta_x$, $\pm \Delta_y$) и ($\pm \Delta_\lambda$, $\pm \Delta_\beta$) являются исходными данными для определения точности позиционирования конечных звеньев сборочных машин или роботов.

Требуемые относительные перемещения вала, совершаемые при его установке в корпус, определяет вектор $\eta = (\Delta a, \Delta b, c, \Delta \lambda, \Delta \beta,)$, в котором c – задаваемое главное перемещение вала в направлении оси z_o , а $(\Delta a, \Delta b)$ и $(\Delta \lambda, \Delta \beta)$ – малые линейные и угловые смещения, выполняемые в процессе самоцентрирования вала по отверстию.

Созданию автоматических сборочных систем должен предшествовать глубокий анализ существа сборочных переходов и самого процесса соединения деталей рассматриваемого узла. На основе такого анализа выявляют требования к технологичности соединяемых деталей узла и требования к точности автоматического сборочного оборудования. Узел, который в обычных условиях при ручной сборке не вызывает сложностей, при автоматической сборке может оказаться нетехнологичным. В общем случае имеют место следующие рекомендации для деталей при автоматической сборке. Соединяемые детали должны иметь на сопрягаемых поверхностях возможно большие по размерам заходные фаски. На втулках и кольцах подшипников, устанавливаемых в корпус с гарантированным натягом, заходные фаски желательно выполнять ступенчатыми, вначале с большим углом ($30^\circ \dots 45^\circ$), а затем с меньшим ($10^\circ \dots 15^\circ$) (рис. 11.34, *a*). Все это способствует снижению усилий запрессовки, обеспечивает правильное центрирование и снижает деформации колец.

Более сложной представляется автоматическая сборка резьбовых соединений. Вектор относительных перемещений винта при его установке имеет вид $\eta = (\Delta a, \Delta b, c, \Delta \lambda, \Delta \beta, \gamma)$. Он показывает, что требуется не только перемещение винта c вдоль оси, но и придание ему вращения γ для попадания в нитку резьбы и выполнения автоматического навинчивания. Малые смещения ($\Delta a, \Delta b$) и повороты ($\Delta \lambda, \Delta \beta$), совершаемые при пассивной адаптации, обеспечивают самоцентрирование винта в резьбовом отверстии. Для расширения условий собираемости торцы винта делают в виде сферы (рис. 11.34, *b*), а на корпусе предусматривают фаски. С этой же целью изменяют конструкцию винтов и создают сравнительно большой заходный конус.

Для уменьшения сборочных переходов отдельные детали конструктивно объединяют в одну более сложную деталь. Так, например, вместо трех деталей (винта, шайбы и гровер-шайбы) применяют один винт, у которого на торце головки делают бурт с зубцами, исключающими самоотвинчивание (рис. 11.34, *в*). С целью уменьшения погрешности установки соединяемых деталей в их конструкции предусматривают точные базовые поверхности, по которым происходит их захват роботами (рис. 11.34, *г*).

У стопорных колец, устанавливаемых на вал или в отверстие для фиксации осевого положения деталей, требования автоматической

сборки определяют необходимость ужесточения допуска на толщину кольца и на точность геометрической формы. Устанавливаемые пружины имеют уменьшенный шаг между витками на концах и в середине пружины, благодаря этому упрощается их установка и уменьшается возможность их сцепляемости в ориентирующих устройствах сборочных машин.

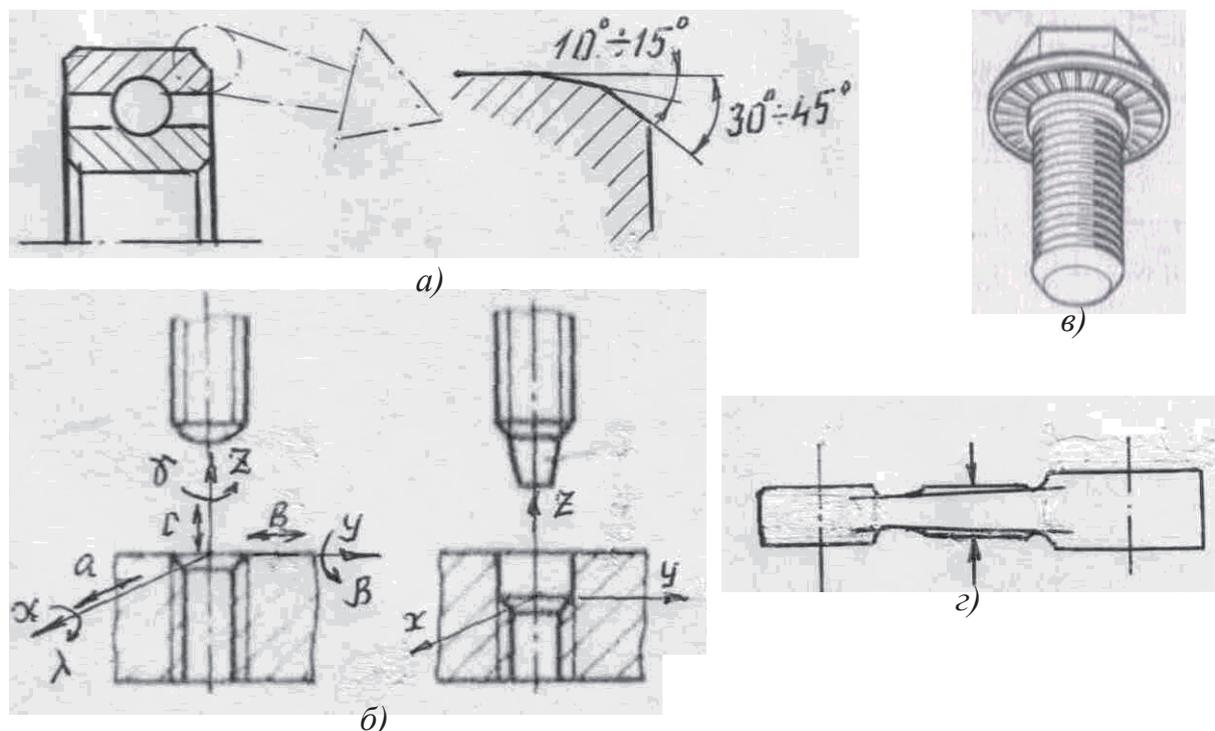


Рис. 11.34. Повышение технологичности деталей для выполнения автоматической сборки: *а* – направляющие фаски на кольцах подшипников; *б* – геометрия деталей для соединения винтовых поверхностей; *в* – объединение винта, плоской и разрезной стопорной шайбы в одну деталь; *г* – создание на детали типа «рычаг» точных базовых поверхностей

Автоматические сборочные машины применяют для сборки определенных изделий, выпускаемых в условиях крупносерийного и массового производств. Это специальные высокопроизводительные сборочные автоматы, которые создают под конкретное изделие устойчивой конструкции (например, для сборки подшипников). Сборочные машины обладают малой технологической гибкостью, они практически не перенастраиваются на сборку другого изделия.

Сборочные машины могут быть однопозиционные и многопозиционные.

В первом случае сборка осуществляется на одной позиции с использованием несколько сборочных головок, в которых имеются нако-

пители с комплектующими деталями, ориентирующие устройства и исполнительные механизмы. Установка на рабочую позицию базовой детали осуществляется с помощью манипулятора, который осуществляет также съем собранного изделия. Однопозиционные машины применяются для сборки простых изделий с малым числом деталей. Ограниченность пространства на одной позиции не позволяет осуществить параллельную установку ряда деталей.

В многопозиционных сборочных машинах собираемый объект перемещается от одной рабочей позиции к другой (рис. 11.35). По периметру поворотного круглого стола устанавливаются несколько сборочных головок, каждая из которых выполняет определенный переход. В результате

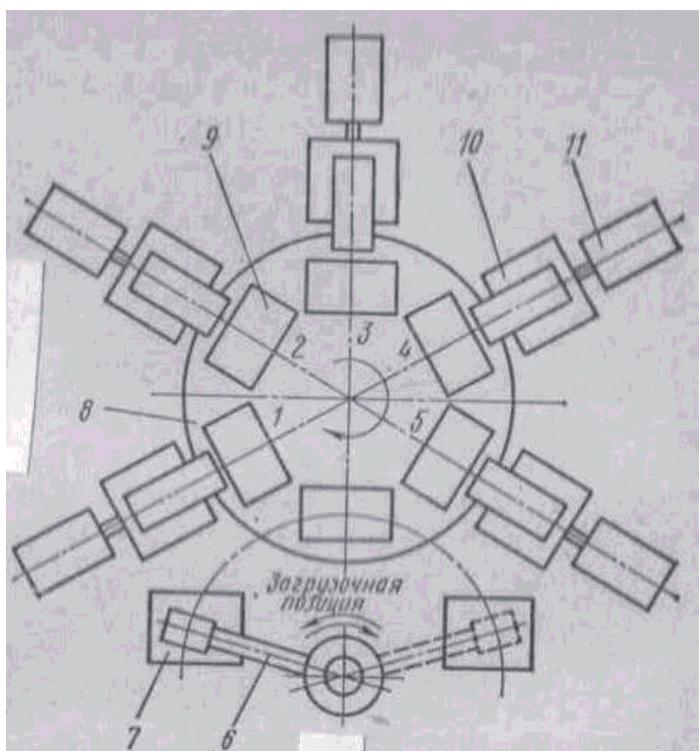


Рис. 11.35. Многопозиционный сборочный автомат: 1 – 5 – сборочные позиции; 6 – манипулятор; 7 – установочная позиция; 8 – поворотный стол; 9 – приспособления на позициях; 10 – сборочные головки; 11 – магазины для комплектующих деталей

происходит параллельно-последовательное выполнение сборочных переходов. На первой позиции манипулятор устанавливает базовую деталь и снимает собранное изделие. Сборка может выполняться с использованием одной или нескольких машин, соединенных транспортером в одну сборочную линию.

Автоматическая сборка с использованием промышленных роботов (ПР) и манипуляторов осуществляется как на отдельных сборочных модулях, так и на автоматических линиях. Основным преимуществом такого оборудования является технологическая гибкость, позволяющая перенастроить модуль на сборку новых изделий с использованием других комплектующих деталей. Программирование робота осуществляется с помощью компьютерных систем управления. Управляющая программа в соответствии с технологией сборки разрабатывается заранее и при необходимости ее можно дополнить и внести коррекцию.

С помощью специальных сменных сборочных головок и схватов робот последовательно выполняет заданные технологические переходы, связанные с ориентацией, установкой, запрессовкой, завинчиванием деталей или измерением параметров точности. Сборочные головки и схваты имеют одинаковые базы и их замену на конечном звене робот также осуществляет автоматически по заданной программе. При последовательной сборке, выполняемой одним роботом, производительность модуля оказывается ниже, чем сборочных машин. Поэтому на базе роботов и манипуляторов создают автоматические линии, на которых осуществляется высокопроизводительная параллельно-последовательная сборка (рис. 11.36).

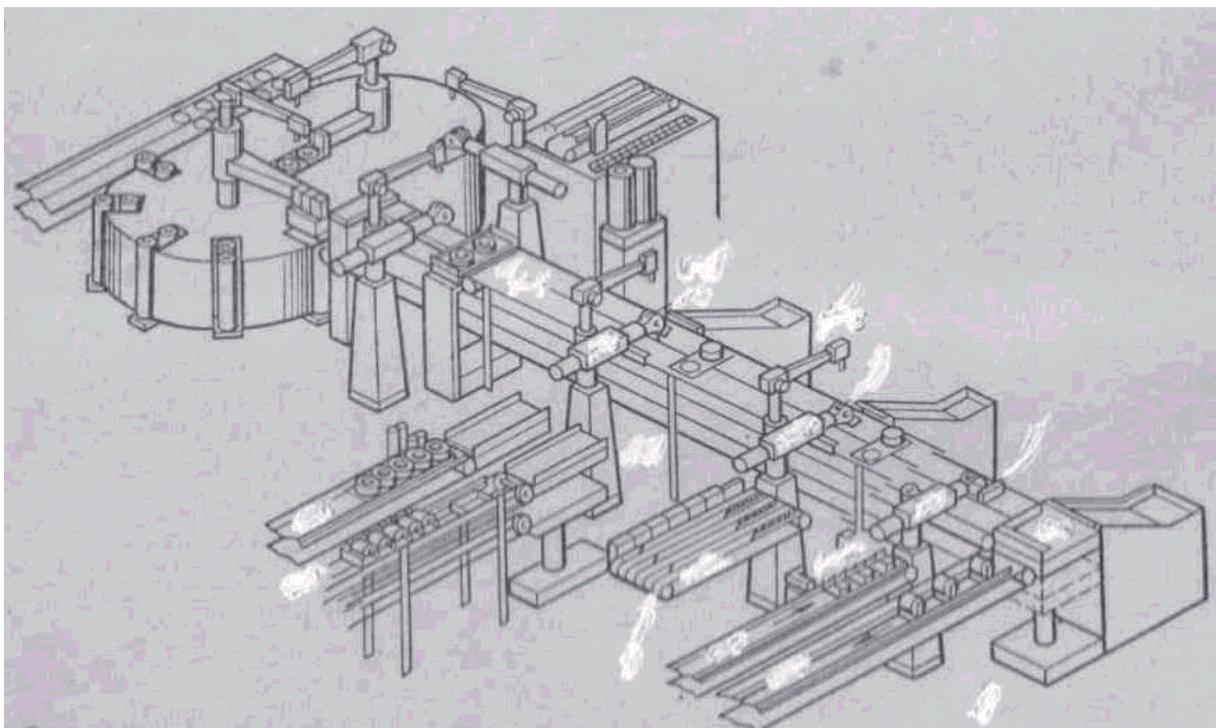


Рис. 11.36. Автоматическая сборочная линия из промышленных роботов

Точность позиционирования конечных звеньев роботов обычно составляет $\pm 0,1 \dots 0,3$ мм, между тем как соединение ряда деталей требует обеспечить точность их относительного положения в пределах $\pm 0,01 \dots \pm 0,05$ мм. Этого достигают за счет применения систем пассивной и активной адаптации, создающих малые ориентирующие перемещения непосредственно в момент соединения деталей. Конструктивно такие системы располагают в схвате робота или на столе, на котором устанавливают базовую деталь собираемого изделия. В системах активной адаптации в качестве датчиков обратной связи применяют датчики давления, силы, моментов и системы технического зрения.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите сборочные единицы, образующие различные по конструкции машины.
2. В чем заключается сущность поточной формы организации технологического процесса сборки изделия?
3. Что следует понимать под понятием «такт выпуска»?
4. Какие исходные данные необходимо иметь для расчета такта выпуска?
5. Как рассчитывается общая трудоемкость сборки изделия?
6. Назовите виды подвижной поточной сборки.
7. Как организуется стационарная поточная сборка?
8. Как определяют количество рабочих позиций на сборочном конвейере?
9. С какой целью выполняют построение циклограммы сборки?
10. Как осуществляют монтаж опор на подшипниках скольжения?
11. Как выполняют монтаж опор на подшипниках качения?
12. Назовите технологические мероприятия, позволяющие уменьшить осевое биение валов на опорах скольжения.
13. Для чего создают предварительный натяг в подшипниках качения?
14. Назовите технологические мероприятия, позволяющие уменьшить радиальное биение на конце шпинделя.
15. Какие факторы определяют величину бокового зазора в цилиндрических зубчатых передачах?
16. Что определяют нормы кинематической точности для зубчатых передач?
17. Как можно проверить качество зацепления конических зубчатых колес?
18. Какие задачи достижения точности решают при сборке конической пары зубчатых колес?
19. Назовите нормы точности, устанавливаемые на зубчатые передачи.
20. Как проверить величину бокового зазора в зубчатой передаче?
21. Какие параметры точности необходимо обеспечить при сборке червячных передач?
22. Что следует понимать под условиями собираемости при выполнении автоматической сборки?

23. Назовите мероприятия, позволяющие расширить условия собираемости в соединениях по цилиндрическим поверхностям.
24. В каких случаях для автоматизации сборки применяют сборочные машины или сборочные модули, создаваемые на базе промышленных роботов?

Глава 12. ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИНЫ

12.1. Исходные данные и последовательность разработки технологического процесса изготовления машины

Для разработки технологического процесса изготовления машины необходимо иметь следующие исходные материалы: 1) краткое и точное описание служебного назначения машины; 2) технические требования и нормы, определяемые ее служебным назначением; 3) рабочие чертежи машины; 4) данные о объеме выпуска машины и о количестве машин, намеченных к выпуску по неизменяемым чертежам (величина серии); 6) условия организации и подготовки производства (выпуск машин на существующем заводе с использованием имеющегося там оборудования или на вновь создаваемом заводе с перспективой получения нового оборудования); 7) данные о местонахождении завода, условиях снабжения и о возможности кооперирования с другими предприятиями; 8) наличие и перспективы получения кадров; 9) плановые сроки подготовки и освоения производства по выпуску машины.

Указанные исходные материалы являются основой детальной проработки комплекса поставленных технологических задач с учетом фактических условий организации производства и выпуска готовых изделий. Точная, конкретная формулировка поставленной задачи и условий ее реализации позволяет найти наилучшие технологические решения как по срокам их выполнения, так и по производимым затратам.

Выбор наиболее экономичного варианта технологического процесса, формы организации производства, необходимого оборудования, инструмента, технологической оснастки, а также уровня механизации и автоматизации напрямую зависит от намечаемого объема выпуска машин N и общего количества их выпуска E по неизменяемым чертежам. Отношение E/N определяет промежуток времени (количество лет), в течение которого предполагается осуществлять выпуск машины без изменения ее конструкции.

При больших объемах выпуска изделий в течение нескольких лет возникает задача создания крупносерийного или массового производства, для которого будет выбрана поточная форма его организации с

соблюдением постоянства такта выпуска. В соответствии с этим будут подробно разрабатываться наиболее совершенные технологические процессы сборки машины и изготовления ее деталей. Для реализации таких процессов будут использовать наиболее производительное технологическое оборудование, приспособления и инструмент, включая станки-автоматы и полуавтоматы, автоматические линии из агрегатных и других специальных станков.

Поточная форма организации потребует создания на заводе автоматических транспортных систем и автоматизированных складов, обеспечивающих непрерывность движения и требуемые скорости перемещения непересекающихся грузопотоков. Создание специального технологического и транспортного оборудования потребует проведения большого объема проектно-конструкторских работ в соответствии с техническими заданиями на проектирование, которые составляют технологи по результатам разработки технологических процессов изготовления машины.

В случае необходимости периодического выпуска в больших объемах нескольких типов изделий, близких по служебному назначению и своим масса-техническим параметрам, потребуются организация переменного-поточного производства. Это потребует изыскания своих технологических решений, применения перенастраиваемого технологического оборудования и приспособлений, обеспечивающих возможность реализации групповой обработки однотипных деталей близких габаритных размеров.

В случае сравнительно небольших объемов серийного выпуска изделий нескольких наименований будет использована непоточная форма организации производства. Для этого будут созданы технологически замкнутые участки с расстановкой оборудования по ходу технологического процесса. Технологические процессы будут разрабатываться с учетом применения быстро перенастраиваемого технологического оборудования, в том числе станков с ЧПУ и обрабатывающих центров. В производстве будет использована перенастраиваемая технологическая оснастка, например универсально-сборные приспособления (УСП). При этом также потребуются создание автоматизированных складов и участков для промежуточного хранения производственных заделов.

Для условий многономенклатурного мелкосерийного и единичного производств будет принята непоточная форма их организации при расстановке оборудования по группам станков. Технологические процес-

сы будут разрабатывать с ориентацией на применение универсального технологического оборудования с использованием универсальных приспособлений и инструментов. С целью повышения производительности особое внимание будет уделено вопросам организации групповой обработки деталей.

Важно также знать условия, в которых будет выполняться разрабатываемый технологический процесс. Если технологический процесс разрабатывается для реализации на вновь создаваемом заводе, то технолог имеет возможность большего выбора вариантов технологических процессов, оборудования и инструмента. В случае, когда технологический процесс разрабатывается для реализации на действующем заводе при необходимости использования имеющегося там оборудования, варианты выбора технологических решений значительно ограничиваются.

В последнем случае ограниченные возможности имеющегося оборудования и производственных мощностей отдельных цехов оказывают существенное влияние на варианты технологического проектирования и определяют необходимость кооперирования с другими заводами.

Знание места расположения завода позволяет выявить возможности кооперирования с другими заводами по изготовлению необходимых заготовок – отливок, поковок, проката. Это позволяет выявить возможности размещения заказов на изготовление отдельных деталей и сборочных единиц, а также возможности поставки унифицированных деталей и узлов (подшипников, крепежных нормалей, электродвигателей, насосов и др.), изготавливаемых на специализированных предприятиях.

Наличие кадров инженерно-технического персонала и производственных рабочих, а также знание перспективы их получения и подготовки также оказывает определенное влияние на разработку технологических процессов. Эффективное применение сложного технологического оборудования, например станков с ЧПУ, обрабатывающих центров, роботизированных технологических модулей, не возможно без наличия высококвалифицированных наладчиков, операторов и инженеров-технологов, обеспечивающих написание управляющих программ. При наличии на предприятии рабочего персонала сравнительно не высокой квалификации требуется более детальная,

тщательная разработка технологических процессов и соответствующей технологической документации (операционных карт, чертежей и эскизов). Это позволяет рабочему и наладчику самим, без каких-либо дополнительных указаний, самостоятельно выполнять порученную операцию по механообработке или сборке изделия.

Последовательность разработки технологического процесса изготовления машины

Для достижения требуемого качества машины наиболее коротким путем с наименьшими производственными затратами разработку технологического процесса ее изготовления необходимо выполнять в следующей последовательности:

- 1) ознакомление со служебным назначением машины;
- 2) изучение и критический анализ технических требований и норм точности, определяющих служебное назначение машины;
- 3) ознакомление с намечаемым объемом выпуска машин в единицу времени и общим количеством машин, изготавливаемых по неизменяемым чертежам;
- 4) изучение конструкторской документации – рабочих чертежей машины – и их критический анализ на технологичность;
- 5) разработка технологического процесса общей сборки машины и ее сборочных единиц;
- 6) изучение служебного назначения деталей, критический анализ технических требований и анализ конструкции деталей на технологичность;
- 7) выбор наиболее экономичных способов получения заготовок для изготавливаемых деталей;
- 8) разработка наиболее экономичных вариантов технологических процессов изготовления деталей;
- 9) разработка планировки размещения оборудования и рабочих мест в производственных участках;
- 10) разработка технических заданий на проектирование и изготовление требуемого оборудования, приспособлений и инструмента;
- 11) апробирование технологического процесса и внесение в него необходимых исправлений при выявлении ошибок.

Изучение служебного назначения машины, анализ технических требований и норм точности на ее изготовление

Важным начальным этапом разработки технологического процес-

са изготовления машины является изучение ее служебного назначения. Полная, точная формулировка служебного назначения машины, содержащая численные значения ее основных функциональных параметров, позволяет принимать правильные решения, начиная с первых ответственных этапов технологического проектирования. Ошибки, допущенные при определении служебного назначения, нередко приводят к неправильной технологии изготовления машины, что неизбежно отражается на ее качестве.

Каждая создаваемая машина предназначена для выполнения определенного процесса, при выполнении которого достигается определенный результат, например получаемые изделия. В соответствии с этим изучение служебного назначения машины следует начинать с ознакомления с результатами ее действия, которые должны оцениваться численными значениями соответствующих функциональных параметров.

Так, например, изучение служебного назначения металлорежущего станка следует начинать с ознакомления с геометрическими формами и размерами изготавливаемых на нем деталей и предъявляемых к ним требований точности. После чего необходимо проанализировать требования производительности обработки, потребляемой мощности, вида управления, надежности и др.

Различные машины выполняет свое служебное назначение при помощи исполнительных поверхностей, между которыми в процессе работы возникают размерные, кинематические, динамические, электрические и другие связи. У станков исполнительными поверхностями являются поверхности, определяющие положение обрабатываемой заготовки и режущего инструмента. При этом достигаемая на станке точность обработки определяется в основном действием размерных и кинематических связей. Поэтому при установлении соответствия служебного назначения машины с техническими требованиями на ее изготовление и нормами точности необходимо в первую очередь рассматривать размерные и кинематические связи, возникающие между исполнительными поверхностями. Требуемая точность относительно положения и движения исполнительных поверхностей, которые задаются как технические требования и нормы геометрической точности станка, определяется из условия обеспечения точности изготавливаемых деталей в соответствии со служебным назначением станка.

В общем случае переход от служебного назначения машины к тех-

ническим требованиям и нормам точности на ее изготовление для каждого типа машины требует индивидуального рассмотрения. Пример такого перехода для токарного станка приведен в параграфе 2.1.

Формулировка служебного назначения машины должна включать также описание условий, при которых машина будет работать, выполняя свое служебное назначение. Эти условия обычно вытекают из характера процесса, выполняемого машиной. Для производящих машин, таких как металлорежущие станки, эти условия включают предельные отклонения параметров применяемых заготовок, режимы работы, потребляемую мощность, состояние окружающей среды и др.

Конструкторскую документацию и рабочие чертежи машины изучают для ознакомления с ее устройством, функциями отдельных узлов и механизмов. В начале следует рассматривать чертежи общей сборки машины, а затем сборочные чертежи ее основных узлов. При этом выявляют исполнительные поверхности машины, размерные и кинематические связи, существующие между ними. В комплект конструкторской документации, как правило, входят различные схемы – кинематическая, гидравлическая, электрическая и др., поясняющие принцип работы машины. Между тем как схемы конструкторских размерных связей машины, определяющих выполнение соответствующих технических требований, технолог обычно выявляет и рассчитывает самостоятельно.

12.2. Основы разработки технологического процесса сборки машины

Разработку технологического процесса сборки машины следует выполнять в определенной последовательности по следующим этапам:

- 1) ознакомление со служебным назначением машины;
- 2) критический анализ технических требований на ее изготовление;
- 3) ознакомление с объемом выпуска и величиной серии;
- 4) ознакомление с рабочими чертежами и проведение размерного анализа;
- 5) составление схемы сборки;
- 6) написание технологии сборки, определение трудоемкости сборки;
- 7) выбор вида и организационной формы технологического процесса сборки, определение необходимого числа рабочих-сборщиков;
- 8) составление технических заданий на проектирование сборочного оборудования и технологической оснастки.

Рассмотрим основные этапы разработки технологического процес-

са сборки машины на примере сборки шестеренного насоса, схема конструкции которого приведена на рис. 11.2.

Формулировка служебного назначения – шестеренный насос модели ДЗ7М-1400050 предназначен для подачи смазки к трущимся поверхностям деталей трактора под давлением 0,6 МПа (6 атм.) при производительности 30 л/мин, которая должна создаваться при частоте вращения входного вала $n^{-1} = 350$ оборотов в минуту.

Приведенная формулировка точно отражает назначение насоса, подтверждая его численными значениями основных функциональных параметров, наличие которых однозначно определяет изделие и позволяет проверить его качество на стенде. Это существенно упрощает процедуру сдачи изделия заказчику.

Критический анализ технических требований необходимо выполнять на предмет их соответствия и достаточности служебному назначению изделия. Технические требования должны непосредственно вытекать из служебного изделия, их выполнение обеспечивает формирование требуемого качества изделия. Однако необоснованно жесткие требования приводят к удорожанию изделия, а неопределенные требования, в которых отсутствуют значения допускаемых предельных отклонений, могут привести к снижению качества и вызывают сложности при сдаче изделия заказчику. При выявлении указанных несоответствий проводятся согласования с разработчиками конструкции, в результате чего в конструкторскую документацию вносится необходимая коррекция.

На рассматриваемый шестеренный насос конструктором были установлены следующие технические требования [30]:

1. Обеспечить радиальный зазор между шестернями и корпусом в пределах 0,07 – 0,15 мм.
2. Обеспечить торцевой зазор между шестернями и корпусом в пределах 0,02 – 0,1 мм.
3. Зазор между крышкой и торцем оси ведомой шестерни должен быть в пределах 0,3 – 0,5 мм.
4. В собранном насосе при прокручивании от руки зубчатые колеса должны вращаться плавно.
5. Насос в сборе должен быть чистым и работать бесшумно.
6. Зазор между торцем колеса на входе и корпусом должен быть в пределах 0,5 мм.
7. Насос в сборе подвергается обкатке на стенде в течение 3-5 мин.

Выполнение технических требований 1 и 2 непосредственно влияет на производительность насоса, которая является одним из основных функциональных параметров, определяемых его служебным назначением. При наличии больших зазоров возникают потери (утечки), которые приводят к потере производительности, а при малых зазорах увеличиваются силы трения и крутящий момент на входе, что в пределе может привести к заклиниванию. Величины потерь Q_y [л/мин] при различных значениях радиальных и торцевых зазоров определяются путем теоретических расчетов и экспериментально на стендах:

$$Q_y = Q_{yp} + Q_{yt} + Q_{yz},$$

где Q_{yp} – потери, обусловленные наличием радиального зазора;

Q_{yt} – потери вследствие наличия торцевого зазора;

Q_{yz} – потери вследствие неплотности контакта зубьев.

Для рассматриваемого насоса их численные значения составляют

$$Q_y = 0,441 + 0,072 + 1,8 = 2,31 \text{ л/мин.}$$

Это позволяет конструктору рассчитать фактическую производительность насоса Q_ϕ с учетом потерь, обусловленных наличием зазоров Q_y и потерь на всасывании $Q_{вс} = 4,83$ л/мин:

$$Q_\phi = Q_t \cdot n + Q_y + Q_{вс},$$

где Q_t – теоретическая производительность насоса за один оборот колеса; n – частота вращения входного вала.

В числовом выражении это составит

$$Q_\phi = 41,95 - 2,31 - 4,83 = 34,81 \text{ л/мин.}$$

Следовательно, выполнение технических требований 1 и 2, связанных с обеспечением точности зазоров, позволит гарантированно обеспечить требуемую производительность насоса: $34,81 \text{ л/мин} > 30 \text{ л/мин}$.

Технические требования, приведенные в пп. 4 и 5, необходимо уточнить, так как они заданы без указания допускаемых предельных значений. Требование по п. 4 следует формулировать так: в собранном насосе приводной вал должен вращаться плавно при приложении крутящего момента не более $1,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Требование по п. 5 следует формулировать следующим образом: уровень звукового давления при работе насоса под нагрузкой не должен превышать 35 дБ .

Зазор между торцем зубчатого колеса и корпусом (см. п. 6) следует ограничить нижним предельным отклонением $0,2 \text{ мм}$. Это означает, что зазор должен быть выдержан в пределах $0,2 - 0,5 \text{ мм}$.

Объем выпуска насоса и величина серии соответственно составляют $N = 100000$ шт/год и $E = 300000$ шт. Ознакомление с этими данными позволяет рассчитать количество лет непрерывного выпуска изде-

лий. Оно составляет три года $k = 300000/100000 = 3$ г. Опираясь на данные, приведенные в табл. 10.1, можно сделать вывод, что создаваемое производство является массовым и должно быть организовано по поточной форме. Для выполнения сборочных операций необходимо будет использовать наиболее производительное оборудование и технологическую оснастку, включая и специальную, затраты на приобретение которых будут компенсированы амортизационными отчислениями за три года его эксплуатации.

Ознакомление с рабочими чертежами и проведение размерного анализа проводят с целью выявления методов достижения точности, которые могут быть использованы при сборке машины и коррекции чертежей. Для этого техническое требование, связанное с необходимостью достижения заданной точности линейного или углового размера, формализуют как замыкающее звено конструкторской размерной цепи. Эту цепь выявляют, а затем рассчитывают в номиналах и в допусках с учетом выбираемого метода достижения точности замыкающего звена. Рассмотрим это на примере обеспечения требуемой точности радиального зазора A_{Δ} , размерная цепь для которого представлена на рис. 12.1:

$$A_{\Delta} = -A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5.$$

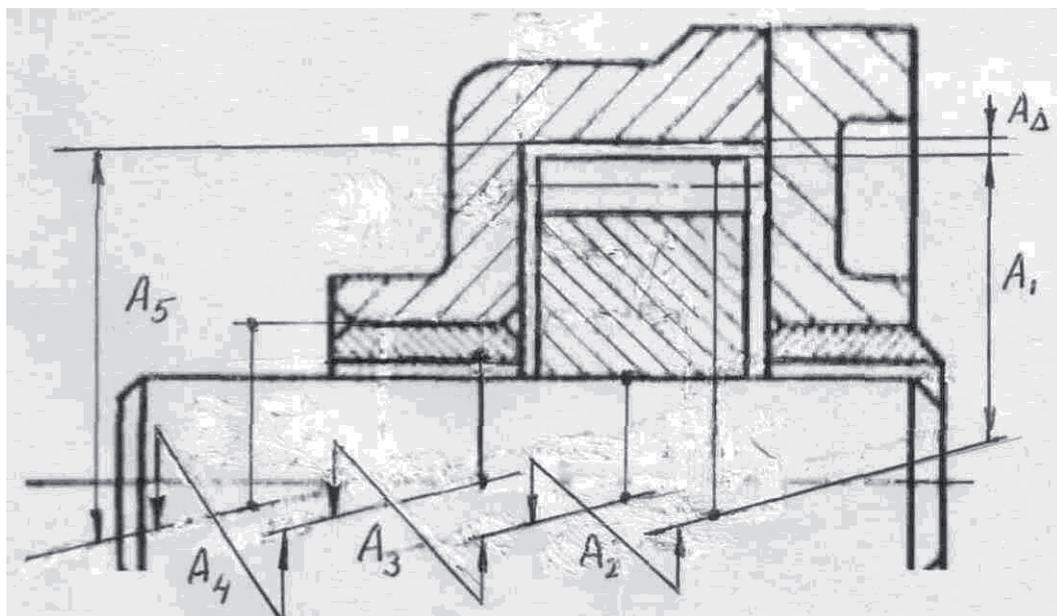


Рис. 12.1. Размерная цепь, определяющая формирование радиального зазора в шестеренном насосе

Расчет размерной цепи в номиналах с учетом данных, приведенных в чертежах, показывает, что номинальные размеры звеньев (размеры деталей, образующих конструкторскую цепь) определены правильно:

$$A_{\Delta} = -48 + 0 + 0 + 0 + 48 = 0.$$

Далее выполняем расчет в допусках. Для осуществления сборки насоса в условиях массового поточного производства выбираем метод полной взаимозаменяемости:

$$T_{\Delta} = \Delta_{\Delta}^B - \Delta_{\Delta}^H = 0,15 - 0,17 = 0,08 \text{ мм}; \quad \Delta_{o\Delta} = \frac{\Delta_{\Delta}^B + \Delta_{\Delta}^H}{2} = \frac{0,15 + 0,17}{2} = 0,11,$$

а средний допуск на составляющие звенья составит

$$T_{cp} = \frac{T_{\Delta}}{m-1} = \frac{0,08}{6-1} = 0,016 \text{ мм.}$$

Между тем как согласно чертежам, на детали входящие в размерную цепь A_{Δ} , установлены следующие допуски:

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
Δ^B	0,016	0,015	0,072	0,025	0,125
Δ^H	0	-0,015	0	-0,025	0,075
T'_i	0,016	0,03	0,072	0,05	0,05

При заданных в чертежах расширенных допусках согласно методу полной взаимозаменяемости на замыкающем звене получим:

$$T'_{\Delta} = \sum_{i=1}^{i=5} T'_i = 0,016 + 0,03 + 0,072 + 0,05 + 0,05 = 0,218 \text{ мм в место } T_{\Delta} = 0,08;$$

$$\Delta_{\Delta}^B = \bar{\Delta}_2^B + \bar{\Delta}_3^B + \bar{\Delta}_4^B + \bar{\Delta}_5^B - \bar{\Delta}_1^H = 0,015 + 0,072 + 0,025 + 0,125 + 0,016 = 0,253 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\Delta}^H = \bar{\Delta}_2^H + \bar{\Delta}_3^H + \bar{\Delta}_4^H + \bar{\Delta}_5^H - \bar{\Delta}_1^B = -0,015 + 0 - 0,025 + 0,075 - 0 = 0,035 \text{ мм.}$$

Это означает, что точность размеров, заданная в чертежах, позволяет решить задачу обеспечения радиального зазора A_{Δ} по методу частичной взаимозаменяемости, при которой коэффициент риска составляет

$$t = \frac{T_{\Delta}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=5} \lambda_i^2 \omega_i^2}} = \frac{0,08}{\sqrt{1/9 \cdot (0,016^2 + 0,03^2 + 0,072^2 + 0,05^2 + 0,05^2)}} = 1,3,$$

а процент изделий с недопустимым значением радиального зазора соответственно составит: (при $t = 1,3$) $\Rightarrow p \% = 18,7 \%$.

Для решения задачи по методу полной взаимозаменяемости требуется совместно с конструктором осуществить коррекцию допусков в сторону их ужесточения. Уменьшенные допуски и откорректированные значения предельных отклонений, позволяющие обеспечить требуемую точность радиального зазора A_{Δ} по методу полной взаимозаменяемости, приведены в таблице:

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
Δ^B	0	0,005	0,045	0,01	0,075
Δ^H	-0,015	-0,005	0,02	-0,01	-0,065
T'_i	0,015	0,01	0,025	0,02	0,01

Таким образом, при откорректированных значениях допусков получим:

$$T_{\Delta} = \sum_{i=1}^{i=5} T_i = 0,015 + 0,01 + 0,025 + 0,02 + 0,01 = 0,08;$$

$$\Delta_{\Delta}^B = \bar{\Delta}_2^B + \bar{\Delta}_3^B + \bar{\Delta}_4^B + \bar{\Delta}_5^B - \bar{\Delta}_1^H = 0,005 + 0,045 + 0,01 + 0,075 + 0,015 = 0,15;$$

$$\Delta_{\Delta}^H = \bar{\Delta}_2^H + \bar{\Delta}_3^H + \bar{\Delta}_4^H + \bar{\Delta}_5^H - \bar{\Delta}_1^B = -0,005 + 0,02 - 0,01 + 0,065 - 0 = 0,07.$$

Проведение размерного анализа позволяет также в ряде случа-

ев выявить последовательность сборки узлов машины. Так, например, при установке крышки 12 на корпус 1 (см. рис. 11.2) необходимо обеспечить совмещение осей отверстий двух втулочных подшипников 5.

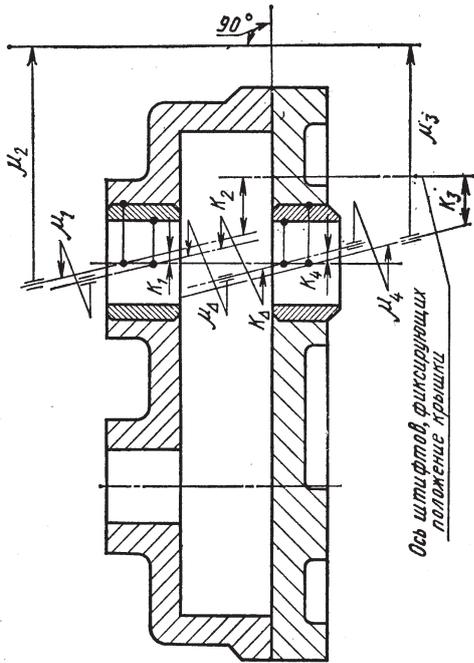


Рис. 12.2. Схема линейной K_{Δ} и угловой μ_{Δ} размерных цепей, определяющих совмещение осей двух втулочных подшипников

Согласно приведенным выше расчетам средний зазор в подшипнике составляет 0,03 мм, а наименьшая допустимая толщина масляного слоя при контакте вала должна составлять 0,01 мм. Следовательно, для компенсации отклонения от соосности и непараллельности двух осей остается $0,03 - 0,01 = 0,02$ мм. Схема линейной K_{Δ} и угловой μ_{Δ} размерных цепей, определяющих совмещение осей двух втулочных подшипников приведена на рис. 12.2.

$$K_{\Delta} = -K_1 - K_2 + K_3 + K_4 \mu_{\Delta} = -\mu_1 - \mu_2 + \mu_3 + \mu_4.$$

Если оставшиеся 0,02 мм равными долями распределить на компенсацию смещения и поворота, то допуск на смещение осей составит $T_{K_{\Delta}} = 0,01$, а допуск на поворот $T_{\mu_{\Delta}} = 0,01/45$. В этом случае при решении задачи по методу полной взаимозаменяемости средние допуски на составляющие звенья составят:

– для линейной цепи $K_{\Delta} T_{cp} = \frac{0,01}{5-1} = 0,002$;

– для угловой цепи $\mu_{\Delta} T_{cp} = \frac{0,01/45}{5-1} = 0,002/45$.

Анализ полученных цифр показывает, что обеспечить такую высо-

кую точность на составляющих звеньях методами взаимозаменяемости практически не представляется возможным и экономически нецелесообразно. Нельзя решить эту задачу и методом регулировки. Если перемещение крышки в привалочной плоскости позволит совместить центры двух отверстий, то обеспечить требуемую точность углового положения осей отверстий не представляется возможным.

В соответствии с этим решение этой задачи возможно только при использовании метода пригонки. Сущность пригонки в данном случае заключается в выполнении совместной расточки отверстий в двух подшипниках, расположенных в крышке и корпусе. Однако для этого вначале необходимо выполнить определенные сборочные операции: запрессовать две втулки в корпус и крышку; установить крышку на корпус и закрепить ее крепежными деталями; просверлить и развернуть в крышке и корпусе два отверстия под две контрольные шпильки; установить две шпильки в отверстия, обеспечив неизменность положения крышки относительно корпуса; затем выполнить с одной установки тонкую расточку отверстий в корпусе и крышке. На крышку и корпус ставят клеймо одного номера, что означает возможность их использования только в таком сочетании.

После расточки крышку снимают и выполняют общую сборку насоса согласно схеме, приведенной на рис. 11.3.

Расточку отверстий выполняют на специальном двухшпиндельном вертикально-расточном станке (рис. 12.3). Второй шпиндель осуществляет расточку в корпусе второго отверстия под ось 8, на которую устанавливают зубчатое колесо 7. Это позволяет получить также требуемую точность расстояния между осями двух зацепляемых колес.

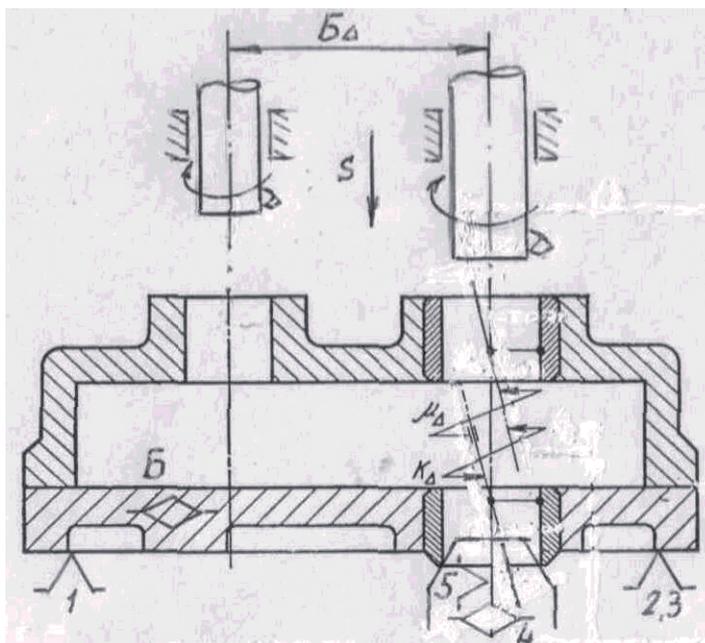


Рис. 12.3. Достижение соосности отверстий в корпусе и крышке путем выполнения совместной расточки на специальном двухшпиндельном вертикально-расточном станке

Базирование корпуса на станке осуществляют с использованием двойной опорной базы. Роль двойной опорной базы выполняет необработанное отверстие в крышке. В отверстие вводят подпружиненный конус, который обеспечивает центрирование – точное расположение отверстия относительно оси шпинделя. Это позволяет обеспечить равномерность припуска в растачиваемых отверстиях. После установки и закрепления корпуса подпружиненный конус автоматически отводится вниз, освобождая отверстие для прохода расточной оправки.

Составление схемы сборки насоса (см. рис. 11.3) выполняют в соответствии с методикой, изложенной в параграфе 11.1. В данном случае схема сборки составлена с учетом необходимости выполнения совместной расточки отверстий в корпусе и крышке и последующей разборки – снятия крышки для установки в корпус вала 4, оси 8 и двух зубчатых колес 6 и 7.

Технология сборки для массового производства требует подробной проработки. Ее записывают в технологическую карту (табл. 12.1), а затем нормируют и определяют общую трудоемкость сборки, которая для рассматриваемого насоса составляет $T_0 = 13,34$ мин.

Таблица 12.1

Технологическая карта сборки шестеренного насоса

р 1.3. Технологическая карта сборки шестеренного насоса (см. рис. 1,10)

Номер операции	Операция	Инструмент		Оборудование и приспособление	Разряд рабочего	Норма штучного времени, мин
		режущий и монтажный	контрольно-измерительный			
Сборка комплекта 1						
1	Запрессовать втулку в корпус 1	—	—	Пневматический пресс	1	0,59
Сборка комплекта 2						
2	Запрессовать втулку 5 в крышку 12	—	—	Пневматический пресс	1	0,59
Сборка и разборка подузла 1						
1	Присоединить к корпусу крышку 12 четырьмя винтами 10, поставив предварительно шайбы 11	—	Приспособление для выверки положения крышки	Четырехшпиндельный винтоверт	1	0,96
2	Просверлить в корпусе 1 два отверстия $\varnothing 7,8^{+0,2}$ мм под штифты 17	Сверло $\varnothing 7,8$ мм	—	Вертикально сверлильный станок, приспособление	1	1,98
3	Развернуть в корпусе 1 два отверстия $\varnothing 8_{-0,012}^{-0,028}$ мм под штифты 17	Специальная развертка	Предельный калибр	То же	1	0,46
4	Установить два штифта 17	—	—	—	1	0,32
5	Расточить втулки подшипников $\varnothing 15_{-0,09}^{+0,06}$ мм	Молоток Алмазный резец	Предельный калибр	Алмазно-расточной станок, приспособление	2	1,02
6	Пометить крышку по корпусу, разобрать подузел 1	—	—	Четырехшпиндельный винтоверт	1	1,10
Итого						5,84

Номер операции	Операция	Инструмент		Оборудование и приспособление	Разряд рабочего	Норма штучного времени, мин
		режущий и монтажный	контрольно-измерительный			
Сборка комплекта 3						
1	Установить валик 4 в приспособление, поставить шпонку 18, напрессовать зубчатое колесо 6	—	—	Масляная ванна, приспособление	1	0,85
Общая сборка насоса						
1	Запрессовать ось 8 в корпус 1	—	—	Камера для охлаждения валика, приспособление	1	0,80
2	Установить в корпус 1 комплект 3, посадить ведомое зубчатое колесо 2 привода и зафиксировать его штифтом 3	Молоток	—	—	1	1,16
3	Посадить ведомое зубчатое колесо 7 насоса	—	—	—	1	0,22
4	Присоединить к корпусу 1 крышку (комплект 2) четырьмя винтами 10 с шайбами 11	—	—	Четырехшпindelный винтоверт	1	0,96
5	Установить стопорные пластины 14, прикрепить их к корпусу болтами 13	—	—	Пневматический ключ	1	1,32
6	Установить прокладку 16 и присоединить трубу приемника 15 винтами 19 с шайбами 20	—	—	То же	1	1,01
Итого						5,47
Общая трудоемкость сборки насоса						13,34

Выбор вида и организационной формы техпроцесса сборки

В соответствии с выводами, полученными при ознакомлении с данными по объему выпуска (смотри п. 3, стр 243), требуется организация поточного производства для массового выпуска насосов в течение трех лет. Для этого по формуле (11.1) рассчитаем такт выпуска изделий, соблюдение которого при поточной форме организации производства является обязательным. Выбираем двухсменный режим работы сборочного цеха, при котором годовой фонд времени составляет $F = 4186$.

При коэффициенте использования годового фонда времени $\eta = 0,85$ такт выпуска составит

$$T = \frac{F \cdot 60 \cdot \eta}{N} = \frac{4186 \cdot 60 \cdot 0,85}{100000} = 2,73 \text{ мин/шт.}$$

Собираемый насос представляет собой малогабаритное, сравнительно легкое изделие, транспортирование которого от одной рабочей позиции к другой можно осуществить с помощью ленточного конвейера.

Необходимое количество сборщиков, располагаемых на рабочих позициях конвейера, рассчитываем по формуле (11.15). При этом учитываем следующие условия:

– одновременное выполнение нескольких операций на одном малогабаритном изделии невозможно, поэтому продолжительность совмещённых операций принимается равной $T_c = 0$;

– при непрерывном движении транспортера, когда время сборки совмещается с временем транспортирования, имеем $t_{\text{п}} = 0$;

– число параллельных потоков конвейера, определяемое по формуле (11.6), составляет $\gamma = 1$, так как согласно технологии наибольшая продолжительность операции не превышает такт выпуска: $1,98 < 2,73$.

С учетом изложенного согласно формуле (11.15) получим пять рабочих сборщиков:

$$q = \frac{T_o}{T} = \frac{13,34}{2,73} = 4,88 \text{ и принимаем } q = 5.$$

После определения количества рабочих необходимо распределить работу между ними. Работу следует распределить так, чтобы сборщики были загружены равномерно, а продолжительность работы каждого должна быть приблизительно равна или кратна такту выпуска. Этот расчет называется синхронизацией операции, для выполнения которой представляется удобным построение циклограммы сборки. Для рассматриваемого процесса сборки целесообразное распределение работ между рабочими сборщиками представлено в таблице:

№ рабочего места	Работа, выполняемая на рабочих местах	Трудоемкость, мин
1	Сборка комплекта 1 и 2. Установка крышки корпуса.	2,44
2	Сверление отверстий под штифты. Установка двух штифтов.	2,67
3	Расточка двух отверстий. Разборка подузла.	2,7
4	Общая сборка	2,72
5	Общая сборка	2,70

Частичная недогрузка первого рабочего компенсируется возложением на него функции подноса комплектующих деталей. Затем на этом этапе разрабатывается также планировка сборочного участка с расстановкой применяемого сборочного оборудования.

Составление технических заданий на проектирование сборочного оборудования и технологической оснастки является заключительным этапом разработки технологического процесса сборки машины. Применение технически совершенной технологической оснастки является одним из путей повышения производительности труда при сборке. В тех случаях, когда использование стандартной сборочной оснастки невозможно или неэффективно, разрабатывают специальное оборудо-

вание, приспособление и инструменты. Для реализации данного процесса необходимо будет разработать техническое задание на проектирование специального двухшпиндельного алмазно-расточного станка и специального приспособления для базирования корпуса с крышкой на операции расточки отверстий во втулках двух подшипниковых опор. Потребуется также составление технического задания на проектирование специального четырехшпиндельного винтоверта, обеспечивающего одновременное закручивание крепежных винтов.

Правила оформления документов на сборочные, слесарно-сборочные и электромонтажные работы определены по ГОСТ 3.1407-74 ЕСТД (единой системы технологической документации).

12.3. Основы разработки технологических процессов изготовления деталей

Для разработки технологического процесса изготовления детали необходимо иметь следующие исходные данные:

1. Рабочий чертеж детали и сборочный чертеж узла, в котором она работает.

2. Технические условия на деталь, требования к ее точности и другие данные, определяющие служебное назначение детали и условия ее работы в узле.

3. Данные по программе выпуска, которые должны включать годовую программу N шт/год (объем выпуска деталей в единицу времени) и величину серии – общее количество деталей, изготавливаемых по неизменным чертежам.

4. Условия реализации проектируемого технологического процесса – на действующем заводе или на вновь проектируемом предприятии. В первом случае необходимо знать состав имеющегося на предприятии оборудования и возможности его модернизации, а во втором – возможности приобретения нового оборудования и перспективы получения кадров.

Для разработки технологического процесса необходимо иметь также стандарты на заготовки, типовые и групповые технологические процессы для рассматриваемых деталей, технологические характеристики применяемого оборудования и режущего инструмента, а также нормативы, справочную литературу и другие руководящие материалы. Разработку технологического процесса изготовления детали рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1. Выявить служебное назначение изготавливаемой детали путем изучения сборочных чертежей узла и рабочего чертежа детали.
2. Проанализировать технические условия на деталь. Выяснить достаточность и соответствие приведенных в чертежах технических требований служебному назначению детали.
3. Выявить количество деталей, подлежащих изготовлению в единицу времени и по неизменным чертежам. Наметить вид и форму организации будущего производственного процесса.
4. Провести анализ технологичности конструкции изготавливаемой детали с учетом данных по программе выпуска и условий реализации разрабатываемого технологического процесса.
5. Обосновать выбор заготовки и технологический процесс ее получения.
6. Обосновать выбор технологических баз и установить последовательность обработки поверхностей заготовки.
7. Выбрать методы обработки поверхностей заготовки и путем расчета уточнений определить состав и количество технологических переходов, необходимых для обработки каждой из поверхностей.
8. Выбрать необходимое технологическое оборудование и режущий инструмент, обеспечивающие достижение требуемой точности детали при наименьшем количестве переходов.
9. Объединить намеченные переходы в технологические операции, выполняемые на одном рабочем месте (на одном оборудовании). Выявить структуру каждой технологической операции.
10. Рассчитать припуски, межпереходные и операционные размеры, установить на них соответствующие допуски. Окончательно определить размеры заготовки и оформить ее чертеж.
11. Рассчитать режимы обработки, обеспечивающие достижение требуемого качества детали и производительности обработки на каждой выполняемой технологической операции.
12. Выявить необходимую технологическую оснастку, режущий и измерительный инструменты для каждой технологической операции.
13. Оформить необходимую документацию на разработанный технологический процесс. Составить маршрутную и операционные технологические карты. Выполнить нормирование технологических операций и определить общую трудоемкость изготовления детали.
14. Разработать другие варианты технологического процесса изго-

товления детали, рассчитать себестоимость изготовления детали и выбрать наиболее экономичный вариант.

15. Разработать технические задания для конструкторов на проектирование необходимого технологического оборудования, приспособления и инструмента.

Выявление служебного назначения детали является начальным этапом разработки техпроцесса ее изготовления. Необходимо внимательно изучить сборочный чертеж узла, в который входит деталь, и выявить функции, которые она выполняет при работе узла. На основе изучения сборочного чертежа изделия и чертежа детали необходимо выявить:

- исполнительные поверхности детали, которыми она выполняет свое служебное назначение;
- схему базирования детали в узле и комплект трех базовых поверхностей, образующих основные конструкторские базы детали;
- вспомогательные базы детали, которыми она также выполняет свое служебное назначение.

Таким образом, формулировка служебного назначения должна четко отражать основные функциональные особенности детали и содержать главные количественные показатели, уточняющие ее служебное назначение.

Анализ технических требований на деталь выполняют с целью определения достаточности и соответствия приводимых на чертеже технических требований служебному назначению детали. Этот анализ должен носить критический характер и включать в себя:

- выявление параметров точности детали, ее размеров и относительных поворотов, которыми она участвует в формировании конструкторских размерных связей узла или машины;
- установление требований к точности рассматриваемых параметров детали, которые вытекают из расчета соответствующих конструкторских размерных цепей;
- оценку правильности и полноты простановки размеров на детали и других технических требований, вытекающих из ее служебного назначения;
- обоснование численных значений допусков и предельных отклонений на рассматриваемые параметры точности детали.

Таким образом, в результате критического анализа технических требований на деталь необходимо выявить недостающие, необоснованные

и неправильно проставленные размеры. Следует убедиться в правильности назначенных допусков и предельных отклонений. В противном случае следует доказать необходимость расширения или ужесточения допусков, приведя их в соответствие со служебным назначением детали. Необоснованно жесткие технические требования приводят к увеличению стоимости изготовления детали. В свою очередь, отсутствие требуемых допусков на линейные и угловые размеры, которыми деталь участвует в формировании размерных связей узла, не позволяет реализовать принятый метод достижения точности при сборке узла.

Ознакомление с годовой программой выпуска деталей и с общим количеством деталей, изготавливаемых по неизменным чертежам, позволяет определить вид будущего производственного процесса и наметить его организационные формы. Данные по объему выпуска позволяют рассчитать такт выпуска, определить общую продолжительность реализации технологического процесса и выявить необходимый уровень его механизации и автоматизации.

Анализ технологичности изготавливаемой детали выполняют с учетом полученных данных по программе выпуска детали на основе ознакомления с имеющимся на предприятии оборудованием и фактическими условиями реализации разрабатываемого технологического процесса (см. параграф 10.5).

Обоснование вида заготовки и метода ее получения выполняют исходя из служебного назначения детали, с учетом объема выпуска, применяемого материала и особенностей конструкции детали. При этом учитывают также вид и форму организации будущего производственного процесса и возможности кооперации между предприятиями (см. п. 7, стр 243).

Выбор технологических баз и последовательности обработки поверхностей основывается на выявлении функционального назначения поверхностей детали и установлении размерных связей, определяющих положение одних поверхностей относительно других. Вначале следует выбирать технологические базы для обработки большинства поверхностей детали, которые получили название общих технологических баз. Во вторую очередь следует выбирать базы для выполнения первой или первых двух-трех операций, на которых создают общие технологические базы для последующей обработки.

Выбор технологических баз для обработки большинства поверхностей детали следует выполнять путем построения схемы связи поверх-

ностей детали (см. параграф 3.3). Это позволяет выявить поверхности, от которых проставлено большинство наиболее ответственных размеров, вытекающих из служебного назначения детали. У большинства деталей такими поверхностями являются их основные конструкторские базы. Поэтому в соответствии с принципом единства баз в качестве общих технологических баз, используемых для обработки большинства поверхностей, следует выбирать основные конструкторские базы детали. Это обеспечивает достижение требуемой точности детали наиболее коротким путем.

У корпусных деталей такими базами являются плоскость основания и два базовых отверстия под цельный и ромбический палец или плоскость основания и две другие плоскости, образующие координатный угол. У зубчатых колес и у деталей типа рычагов, вилок в качестве общих технологических баз используют базовое отверстие и торец. Большинство поверхностей у валов обрабатывают при базировании по одному из торцов и двум центровым гнездам, которые создают на первой операции.

При выборе технологических баз, в первую очередь, следует стремиться обеспечить достижение точности относительного поворота поверхностей, а затем точность расстояния. Это объясняется тем, что точность поворота обеспечивается методами взаимозаменяемости, так как на станках обычно отсутствуют устройства коррекции угловых отклонений, а точность расстояния достигается методом регулировки, с применением встроенных устройств отсчета и коррекции размеров.

На первой операции создают общие технологические базы для обработки большинства поверхностей детали. Поэтому при выборе технологических баз на первой операции следует исходить из необходимости решения двух задач: обеспечение требуемой точности положения обрабатываемых поверхностей детали относительно черных (свободных) необрабатываемых поверхностей и обеспечение равномерного припуска на обрабатываемых поверхностях, что особенно важно для главных отверстий и поверхностей направляющих станин, кареток.

Для определения наилучших вариантов решения поставленных задач рассматривают несколько возможных вариантов базирования заготовки на первой операции. А затем путем выявления и расчета соответ-

ствующих технологических размерных связей выбирают наилучший вариант базирования.

Установление последовательности обработки поверхностей непосредственно связано с выбором технологических баз. При определении последовательности обработки поверхностей необходимо учитывать также следующие рекомендации. В первую очередь рекомендуется обрабатывать поверхности, относительно которых большинство других поверхностей должно занять требуемое положение, обусловленное их функциональным назначением. Например, у корпусных деталей вначале следует обрабатывать плоские поверхности, а затем – главные и мелкие отверстия. Сверление отверстия по черной необработанной поверхности может вызвать увод сверла и его поломку.

У зубчатых колес и рычагов вначале следует обрабатывать базовые отверстия и торец. Затем, используя эти поверхности в качестве технологических баз, следует обрабатывать большинство оставшихся поверхностей детали, соблюдая, таким образом, принцип единства баз.

Ниже рассматривается пример обоснования выбора технологических баз и последовательности обработки заготовки корпусной детали (рис. 12.4). На заготовке корпуса фрезерной головки (рис. 12.4, *a*) необходимо обработать основание, торец уступа в размер П, верхнюю плоскость, выдержав размер Л, а также две торцевые поверхности, на которых расположено главное отверстие под шпиндель и мелкие резьбовые отверстия. При этом необходимо обеспечить требуемую точность положения оси отверстия под шпиндель, выдержав линейные размеры Д, П и относительные повороты γ , β .

Обработку выполняют на многоцелевых станках фрезерно-расточного типа, позволяющих осуществлять фрезерование, сверление, расточку отверстий и нарезание резьбы метчиками. Расточить отверстие под шпиндель с меньшим числом проходов на более высоких режимах резания возможно при наличии в отверстии равномерного припуска. Это требование имеет особо важное значение при использовании станков с ЧПУ, работающих в автоматическом цикле с применением консольного инструмента относительно малой жесткости.

В примере рассматривается два варианта выполнения технологического процесса I и II, которые отличаются различными схемами базирования заготовки на первой операции (рис. 12.4, *в*, *г*).

Согласно варианту I перед механической обработкой заготовку корпуса размечают (рис. 12.4, б). Базами разметки является ось главного отверстия, от которого рисками разметки обозначены размеры И, К, Р, М, Н. Базирование корпуса на первой операции (вариант I) с использованием разметки позволяет получить равномерный припуск в отверстии, что показано ниже, путем расчета технологических размерных цепей.

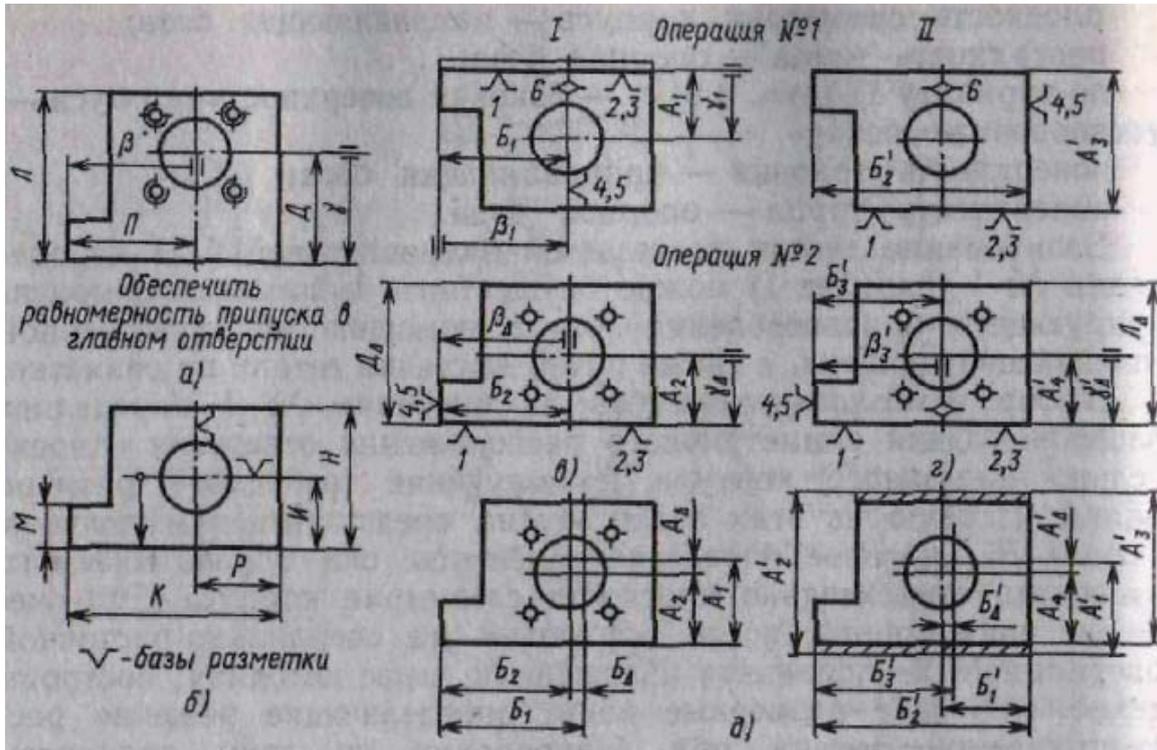


Рис. 12.4. Технологические размерные связи, определяющие влияние выбора баз на первой операции на равномерность припуска в главном отверстии: а – эскиз детали; б – схема разметки заготовки; в – базирование на операциях по варианту I; г – базирование на операциях по варианту II; д – схемы размерных связей, определяющих смещение оси обработанного отверстия относительно оси черного отверстия

В качестве технологических баз для обработки большинства поверхностей выбраны основные базы корпуса (плоскость основания и торец уступа), относительно которых определено положение главных и мелких отверстий, верхней плоскости и двух торцев. В соответствии с этим на операции № 2, на которой происходит обработка большинства поверхностей корпуса, базирование заготовки как по первому, так и по второму вариантам осуществляется одинаково – в координатный угол (см. рис. 12.4, в, г). В результате требуемая точность размеров Δ , Π и относительных поворотов γ , β , определяющих положение главного отверстия, получается наиболее коротким путем:

$$D = D_{\Delta}; \quad \Pi = \Pi_{\Delta}; \quad \gamma = \gamma_{\Delta}; \quad \beta = \beta_{\Delta};$$

и соответственно $\omega_D = \omega_{D_{\Delta}}; \omega_{\Pi} = \omega_{\Pi_{\Delta}}; \omega_{\gamma} = \omega_{\gamma_{\Delta}}; \omega_{\beta} = \omega_{\beta_{\Delta}}$.

На первой операции выполняется обработка основания корпуса и торца уступа, которые затем используют в качестве технологических баз на второй операции. Однако базирование заготовки на первой операции в двух рассматриваемых вариантах различно. По варианту I в качестве технологических баз приняты: верхняя плоскость, размеченная от отверстия, выполняющая роль установочной базы (точки 1, 2, 3); размеченная плоскость, проходящая через ось главного отверстия, – направляющая база (точки 4, 5) и поверхность торца – опорная база (точка 6). По варианту II заготовка на первой операции также базируется по трем плоскостям. Однако в качестве установочной базы принята плоскость под крышку (точки 1, 2, 3), в качестве направляющей базы – боковая поверхность корпуса (точки 4, 5), а в качестве опорной – поверхность торца (точка 6).

Выбор схемы базирования на первой операции оказывает прямое влияние на получение равномерного припуска в отверстии. Покажем это путем выявления и расчета технологических размерных цепей.

Выявление технологических размерных цепей, определяющих решение конкретной задачи, следует начинать с установления исходного (замыкающего) звена и той операции, на которой оно получено. В данном случае рассматривается неравномерность припуска в отверстии, которая проявляется при растачивании отверстия на операции № 2. Неравномерность припуска можно представить как смещение E оси обработанного отверстия относительно оси отверстия в заготовке и определить двумя замыкающими звеньями A_{Δ} и B_{Δ} :

$$E = \sqrt{A_{\Delta}^2 + B_{\Delta}^2},$$

где A_{Δ} – смещение оси в вертикальной плоскости; B_{Δ} – смещение оси в горизонтальной плоскости.

Для определения причин формирования отклонений необходимо выявить составляющие звенья размерных цепей A_{Δ} и B_{Δ} . Это позволит определить операционные размеры, получаемые на предшествующих операциях, и размеры заготовки, которые непосредственно влияют на формирование точности замыкающих звеньев A_{Δ} , B_{Δ} .

Составляющие звенья технологической цепи выявляют начиная с замыкающего звена (рис. 12.4, д), идя от обработанной поверхности до технологической базы и далее от базы до поверхности, от которой она была получена на предшествующей операции, и т. д. Последовательно осуществляя такой переход, доходят до поверхности заготовки, которую используют в ка-

честве технологической базы на первой операции. Если при этом технологическая размерная цепь оказывается незамкнутой, то ее построение завершают размерами заготовки, связывающими соответствующие поверхности.

При первом варианте, когда базирование на операции № 1 осуществляется по разметке, полученной от черного отверстия, имеют место короткие размерные цепи, составляющими звеньями которых являются операционные размеры (см. рис. 12.4, в, д):

$$A_{\Delta} = A_1 - A_2; \quad \omega_{A_{\Delta}} = \omega_{A_1} + \omega_{A_2}; \quad \omega_{A_{\Delta}} = 0,3 + 0,1 = 0,4 \text{ мм};$$

$$B_{\Delta} = B_1 - B_2; \quad \omega_{B_{\Delta}} = \omega_{B_1} + \omega_{B_2}; \quad \omega_{B_{\Delta}} = 0,4 + 0,1 = 0,5 \text{ мм}.$$

Неравномерность припуска в отверстии при этом будет наименьшей:

$$\omega_{E_{\Delta}} = \sqrt{\omega_{A_{\Delta}}^2 + \omega_{B_{\Delta}}^2}; \quad \omega_{E_{\Delta}} = \sqrt{0,4^2 + 0,5^2} = 0,64 \text{ мм}.$$

При втором варианте, когда базирование на первой операции осуществляется по верхней плоскости корпуса, возникают более длинные технологические цепи, у которых в число составляющих звеньев входят размеры $A'_1 = И$; $A'_2 = Н$; $B'_1 = Р$, принадлежащие заготовке:

$$A'_{\Delta} = A'_1 - A'_2 + A'_3 - A'_4; \quad B'_{\Delta} = B'_1 - B'_2 + B'_3 - B'_4;$$

Погрешности на замыкающих звеньях $\omega_{A'_{\Delta}}$, $\omega_{B'_{\Delta}}$ и неравномерность припуска в отверстии $\omega_{E'_{\Delta}}$ в этом случае становятся наибольшими:

$$\omega_{A'_{\Delta}} = \omega_{A'_1} + \omega_{A'_2} + \omega_{A'_3} + \omega_{A'_4}; \quad \omega_{A'_{\Delta}} = 1,2 + 1,8 + 0,4 + 0,1 = 3,5 \text{ мм};$$

$$\omega_{B'_{\Delta}} = \omega_{B'_1} + \omega_{B'_2} + \omega_{B'_3} + \omega_{B'_4}; \quad \omega_{B'_{\Delta}} = 1 + 0,4 + 0,1 = 1,5 \text{ мм};$$

$$\omega_{E'_{\Delta}} = \sqrt{\omega_{A'_{\Delta}}^2 + \omega_{B'_{\Delta}}^2}; \quad \omega_{E'_{\Delta}} = \sqrt{3,5^2 + 1,5^2} = 3,8 \text{ мм}.$$

Таким образом, для обеспечения равномерного припуска в главном отверстии предпочтительным является базирование по варианту I, при котором $\omega_{E_{\Delta}} = 0,64$ мм по сравнению с $\omega_{E'_{\Delta}} = 3,8$ мм по варианту II.

Выбор метода обработки поверхностей заготовки следует выполнять путем расчета уточнений (см. параграф 7.1). Зная требования точности на размеры изготавливаемой детали и параметры точности заготовки, определяют необходимое уточнение по каждой из обрабатываемых поверхностей. Затем определяют методы обработки и состав технологических переходов, позволяющих обеспечить требуемое уточнение. При этом выбор методов обработки и подбор технологических переходов осуществляют в обратной последовательности их выполнения. Вначале определяют методы обработки и финишные технологические переходы, обеспечивающие получение конечных параметров точности детали. Затем определяют предшествующие переходы, выполнение которых позволяет обработать заготовку и получить требуемые параметры точности готовой детали.

Выбор необходимого технологического оборудования и режущего инструмента осуществляют в соответствии с выбранными методами обра-

ботки поверхностей заготовки. При этом оборудование выбирают для выполнения отдельной предварительной (черновой) обработки и для выполнения чистовой (финишной) обработки. Анализ намеченных технологических переходов позволяет объединить их в операции, которые выполняются на выбранных станках для предварительной и чистовой обработок.

Расчет припусков, межпереходных и операционных размеров следует выполнять согласно методике, изложенной в Части 1. Припуски следует рассчитывать начиная с последнего (финишного) перехода, идя от детали к началу технологического процесса (к предшествующим переходам) и далее к заготовке. Для каждого перехода вначале рассчитывают наименьший припуск Z_{\min} , затем наибольший Z_{\max} , после чего рассчитывают номинальный припуск $Z_{\text{нп}}$, номинальные значения межпереходных размеров и размер заготовки.

Допуски на межпереходные и операционные размеры устанавливают в соответствии с технологическими возможностями выбранного станочного оборудования. Суммирование припусков, рассчитанных на переходы, выполняемые при обработке соответствующих поверхностей, позволяет определить общие припуски на обработку и окончательно уточнить размеры выбранной заготовки.

Расчет режимов резания, обеспечивающих достижение требуемого качества детали и производительности обработки на каждой технологической операции, выполняют по соответствующим формулам с учетом требований точности обработки, материала детали, назначенных припусков, выбранного инструмента, оборудования и условий обработки.

Рассчитанные режимы резания (частоту вращения шпинделя n , подачу s , глубину t) корректируют с учетом технологических возможностей выбранного станка (мощности привода, кинематического диапазона подач и оборотов шпинделя), указанных в его паспорте.

Оформление необходимой документации на разработанный технологический процесс предусматривает составление маршрутной и операционных технологических карт, формат которых определен соответствующими стандартами ЕСТПП (единой системы технологической подготовки производства). Правила оформления документов на механическую обработку определены по ГОСТ 3.1404-74 ЕСТД. На рис. 12.5 приведен формат и пример заполнения маршрутной технологиче-

ГОСТ 3.1103-74 Форма 1

Основная надпись по ГОСТ 3.1103-74 Форма 1

Эскиз детали		Материал		Един. массы		Масса детали		Заготовка			Един. норм.	Норма расхода	Коеф. расхода
				Наименование, марка	Код	кг	г	Вид загот. и разм.	Профиль и разм.	Кол. дет.			
Чугун серый ГОСТ 1412-70		Чугун серый ГОСТ 1412-70		кг	г	18,2	отливка	1	26,8				0,68
Номер	Часть	Наименование и содержание операции	Обозн. документа	Оборудование (наименование, марка и модель)	Приспособление (наименование, ванне)	Режущий инструмент (наименование, ванне)	Измерит. инструм. (наименование, ванне)	Коеф. профес-сия	Коеф. разб.	Един. нормир. обр. дет.	Коеф. норма сета	Объем производ. партии	Тшт.
1	05	Фрезерная		Горизонт. фрезерный БН13П	Специальн. с гидравл. зажимом	Фреза цилиндрич. циркуль ШЧ-П-400	Штанген-циркуль	1/	1/2	3/4	1200	1,27	
1	10	Расточная		Горизонт. расточной БС-286	Специальн. с гидравл. зажимом	Блоки расточные	Пробка ШЧ-300-025	1/	1/4	1/1	1200	2,13	
1	15	Сверлильная		Вертикал. сверлильн. 2А150	Специальн. с механич. зажимом	Сверло ф 10,5; ф 21	Штангенциркуль ШЧ-125-0,1	1/	1/2	2/1	1200	1,85	
1	20	Контрольная			Спец. прил.			1/	1/2	1/1		1,97	

Основная надпись по ГОСТ 3.1103-74 Форма 1

Рис. 12.5. Формат маршрутной технологической карты и пример ее заполнения

ской карты, в которой указывают номер, наименование и последовательность выполнения технологических операций. В карте указывают цех и участок, где выполняется операция, а также применяемое оборудование, приспособления, режущий и измерительный инструменты.

Операционную карту заполняют на одну операцию (рис. 12.6). Все предусмотренные переходы нумеруют последовательно арабскими цифрами – 1, 2, 3 и т.д. – по всем установам. В свою очередь, установки обозначают буквами русского алфавита: «Установ А», «Установ Б» и т.д. Для каждого перехода указывают наименование применяемых режущего, вспомогательного и измерительного инструментов. В карте указывают также основные размеры обрабатываемой поверхности, например, диаметр отверстия и его длину, глубину резания t и число проходов (рабочих ходов). На основе рассчитанных режимов обработки s , n , v , приводимых для каждого перехода, определяют основное технологическое время (T_0). Вспомогательное (T_B) и подготовительно-заключительное время, а также время на обслуживание станка устанавливают по нормативам; разряд рабочего определяют по тарифно-квалификационному справочнику. По результатам нормирования переходов определяют трудоемкость технологической операций ($T_{шт.}$), а затем и общую трудоемкость изготовления детали.

Операционную карту технического контроля также составляют в определенном формате (рис. 12.7). Контрольной операции присваивается номер, переходы технического контроля нумеруют в последовательности их выполнения. В карте указывают контролируемый параметр, применяемое приспособление и измерительный инструмент, а также процент контролируемых деталей. В графе «особые указания» могут быть приведены необходимые требования по организации выполнения контрольной операции. Выбор документов соответствующих видов и требований к их заполнению регламентирован ГОСТ 3.1407–86.

Разработка других вариантов технологического процесса и расчет себестоимости изготовления детали позволяют выбрать наиболее экономичный вариант для реализации его на производстве.

Основная надпись по ГОСТ 3.1103-74		Наименование операции			
Номер черта	Номер листа	Номер опер.	Контрольная		
		35			
Эскиз контролируемого изделия (Угольник поворотный) см. карту эскизов (Приложение П.11.2.)		Наименование и марка материала ГОСТ, ТУ			
		Сталь 20Х ГОСТ 4543-71			
		Наименование оборудования			
Номер переход	Содержание перехода, Контролируемый параметр	Приспособление	Измерительный инструмент	Процент контроля	Особые указания
1	Шероховатость поверхностей А и Б: $R_a 25; R_z 20$ визуально, методом сравнения		Образцы шероховатости по стали $R_a \leq 2,5; R_z \leq 20$, точные, ГОСТ 9378-75	50	Первые детали проверить мастером смены после наладки
2	Размер $\phi 23,5 +0,28$		Пробка 23,5 +0,28 ГОСТ 14811-69	20	
3	Технические требования: п.1 п.2 п.3	Контрольное приспособление Калибр Контрольное приспособление		50 50 50	
		Основная надпись по ГОСТ 3.1103-74			

Рис. 12.7. Операционная карта технического контроля

12.4. Типовые технологические маршруты изготовления деталей машин

Конструкция различных по служебному назначению машин в общем случае включает такие наиболее распространенные основные детали, как: базовые корпуса, валы, зубчатые колеса, крышки, рычаги, планки, втулки и др. Каждая из этих деталей является представителем деталей своего класса, для которых характерна общность служебного назначения, близость геометрических форм и технических требований на изготовление. В соответствии с этим изготовление основных деталей, относящихся к определенному классу, происходит по общим технологическим маршрутам, определяющим состав и последовательность операций по обработке поверхностей, применяемое технологическое оборудование, приспособления и инструмент. Ниже рассматриваются типовые технологические маршруты изготовления рассматриваемых основных деталей машин.

Технологические маршруты изготовления валов

На рис. 12.8. в качестве примера конструктивного исполнения представлены вал генератора и его заготовка – штамповка, используемая для изготовления вала в крупносерийном и массовом производствах. Характерные технические требования на изготовление вала показаны на рис. 12.8, а, а параметры точности заготовки-штамповки – на рис. 12.8, б.

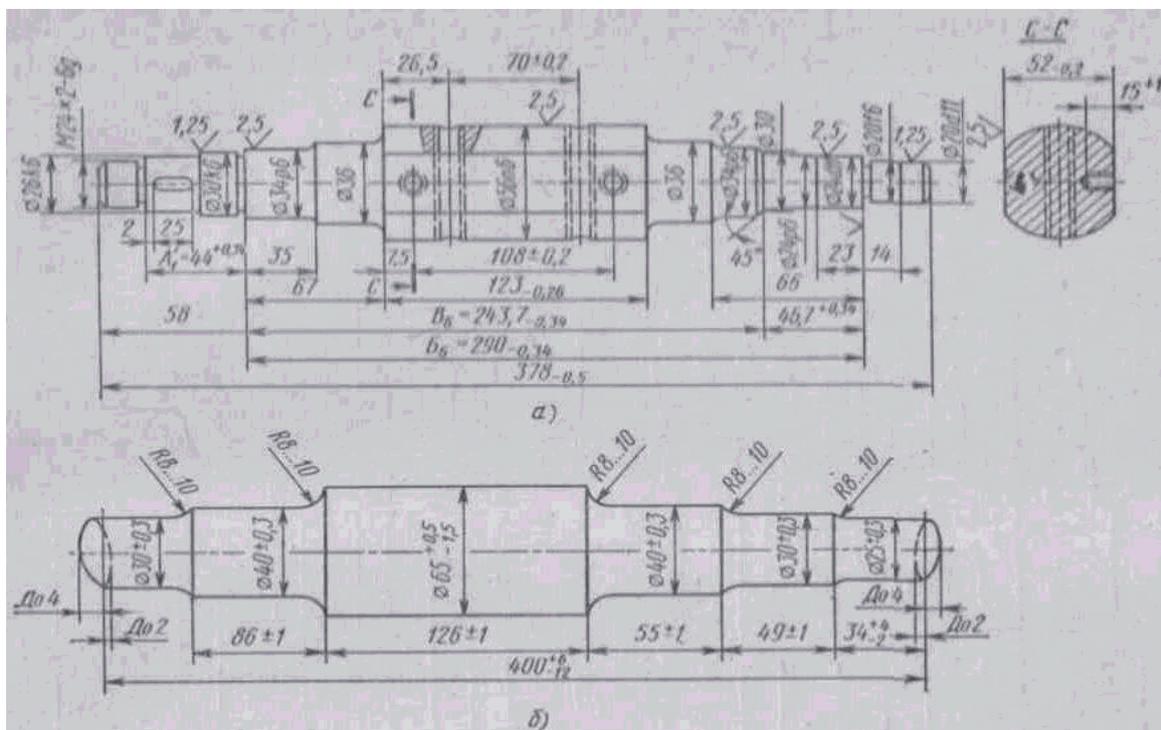


Рис. 12.8. Вал генератора: а – эскиз вала; б – эскиз заготовки

В условиях мелкосерийного производства для изготовления сту-

пенчатого вала длиной $L = 350$ мм и диаметром $\Phi 55$ мм в качестве заготовки будет выбран горячекатаный пруток, который предварительно разрезают на части, а обработку вала будут выполнять по маршруту, представленному в табл. 12.2.

Таблица 12.2

Технологический маршрут изготовления ступенчатого вала
в мелкосерийном производстве

№	Операция	Базирование	Оборудование
1	Отрезка заготовки от прутка	В тисках по цилиндрической поверхности прутка и по торцу	Отрезной станок
2	Подрезка торцов и зацентровка вала с обеих сторон (с переустановкой)	В патроне по цилиндрической поверхности прутка и по торцу	Токарно-револьверный станок
3	Черновая токарная обработка вала по ступеням с обеих сторон	В центрах и по торцу (с переустановкой)	Токарно-винторезный станок
4	Чистовая токарная обработка вала с обеих сторон, снятие фасок, прорезка канавок, нарезание наружной резьбы	В центрах и по торцу (с переустановкой)	Токарно-винторезный станок
5	Фрезерование шпоночных пазов	В призмах по цилиндрической поверхности вала и по торцу	Универсальный вертикально-фрезерный станок
6	Слесарная операция – снятие заусенцев, притупление острых кромок	В тисках по цилиндрической поверхности	–
7	Термообработка – закалка отдельных ступеней вала	В центрах и по торцу	Установка ТВЧ
8	Шлифование закаленных ступеней и торцов вала	В центрах и по торцу	Круглошлифовальный станок
9	Промывка и контроль	–	Моечная ванна

При наличии на валике отверстий, расположенных перпендикулярно к его оси (см. рис. 12.8, *a*), в технологическом маршруте предусматривают сверлильную операцию, которую выполняют после чистовой токарной обработки. Операцию выполняют на вертикально-сверлильном станке при базировании вала по цилиндрической поверхности в призмах.

В крупносерийном производстве для изготовления вала (материал

ст. 45 ГОСТ 1050) длиной $L = 420$ мм и диаметром $\Phi 62$ мм, у которого на отдельных ступенях имеется наружная резьба и шлицевые пазы, будет использована штучная заготовка-штамповка, а изготовление вала будет выполняться по маршруту, приведенному в табл. 12.3.

Таблица 12.3

Технологический маршрут изготовления ступенчатого вала
в крупносерийном производстве

№	Операция	Базирование	Оборудование
1	Одновременное фрезерование двух торцов и зацентровка заготовки с обеих сторон	В тисках по цилиндрической поверхности штамповки и по торцу	Фрезерно-центровальный полуавтомат
2	Черновая токарная обработка вала по контуру с обеих сторон (с переустановкой)	В самозажимном патроне в центрах и по торцу	Токарный гидрокопировальный полуавтомат
3	Чистовая токарная обработка вала с обеих сторон, снятие фасок, прорезание канавок (с переустановкой)	В самозажимном патроне в центрах и по торцу	Токарный гидрокопировальный полуавтомат
4	Нарезание наружной резьбы с использованием резьбонарезной головки	В центрах и по торцу	Резьбонарезной станок
5	Фрезерование шпоночных пазов	В центрах и по торцу	Шпоночно-фрезерный полуавтомат
6	Фрезерование шлицевых пазов	В центрах и по торцу	Шлице-фрезерный полуавтомат
7	Слесарная операция – снятие заусенцев, притупление острых кромок	В тисках по цилиндрической поверхности	–
8	Термообработка – закалка отдельных ступеней вала и шлицевых поверхностей	В центрах и по торцу	Установка ТВЧ
9	Шлифование закаленных ступеней и торцов вала	В центрах и по торцу	Круглошлифовальный станок
10	Шлифование шлицев	В центрах и по торцу	Шлицешлифовальный полуавтомат
11	Промывка и контроль	–	Моечная ванна

В качестве примера на рис. 12.9 приведены технологические эскизы обработки заготовки вала на первой фрезерно-центровальной операции,

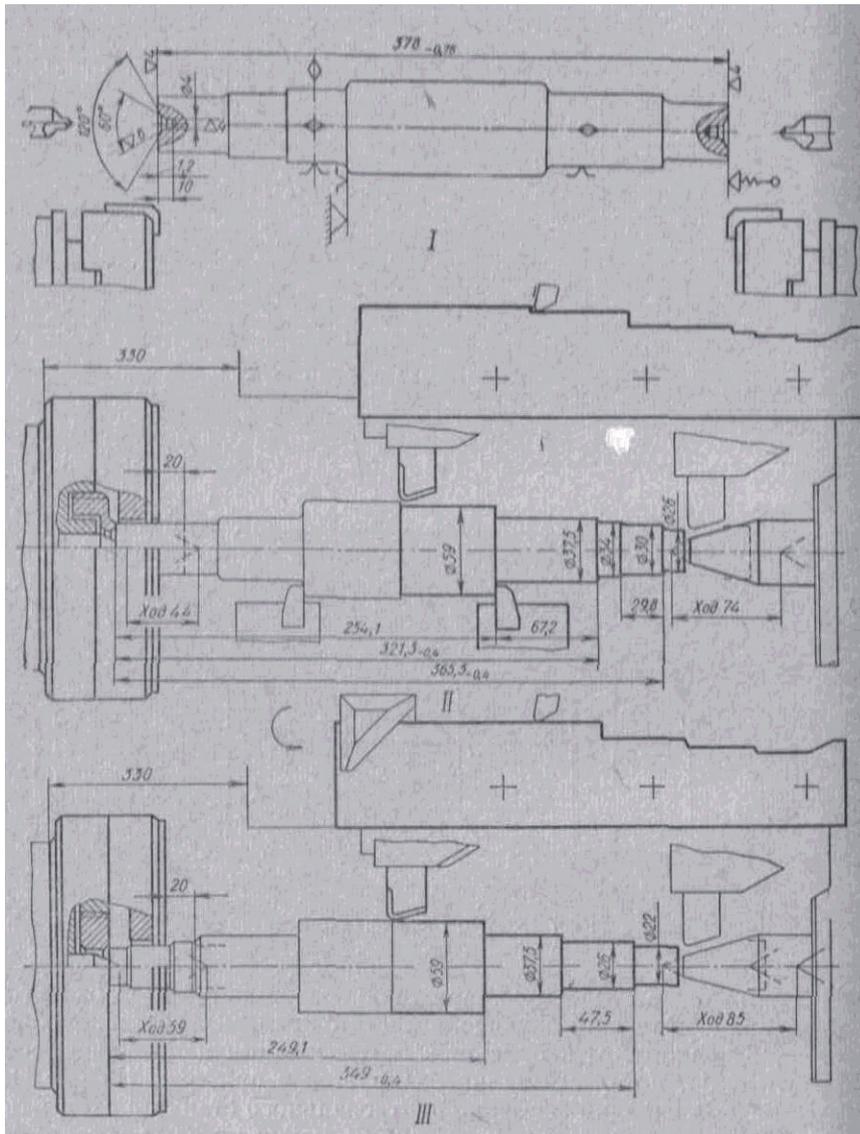


Рис. 12.9. Технологические эскизы обработки заготовки вала: I – на первой фрезерно-центровальной операции; II и III – на операции предварительной токарной обработки с обеих сторон

технологические эскизы обработки заготовки вала на шлицефрезерной и круглошлифовальной операциях.

На валах, материал которых склонен к пластическому деформированию, шлицы с эвольвентной боковой поверхностью можно получить путем холодного накатывания с помощью реек, роликов или многороликовых головок.

Получаемое при этом упрочнение поверхностного слоя повышает

когда создают технологические базы для последующей обработки вала, и на операции предварительной токарной обработки, выполняемой за два установка заготовки.

Нарезание шлицев на валах можно осуществить также на горизонтальных универсально-фрезерных станках с помощью двух профильных фрез и делительной головки, обеспечивающей поворот вала на угол между шлицами.

На рис. 12.10 и рис. 12.11 приведены техно-

на 10...20 % прочность шлицев на скручивание, что позволяет в ряде случаев исключить необходимость выполнения закалки шлицевых поверхностей.

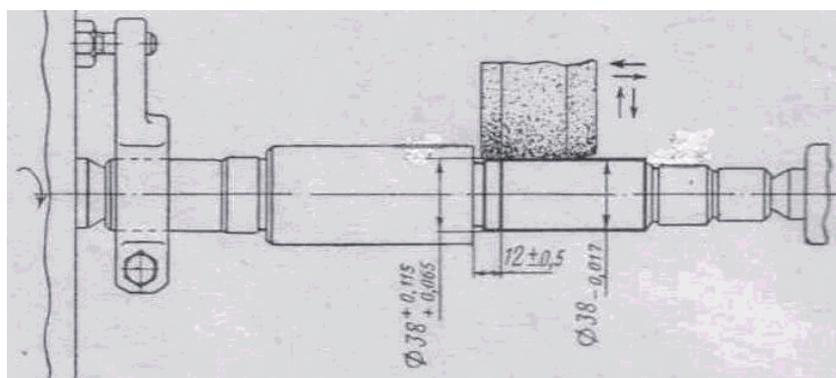


Рис. 12.10. Схема выполнения шлицефрезерной операции

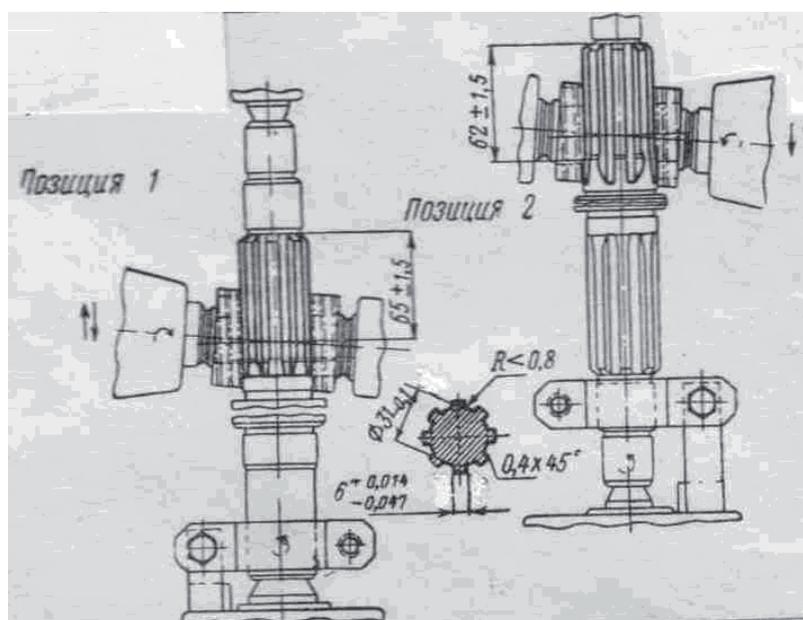


Рис. 12.11. Схема выполнения круглошлифовальной операции

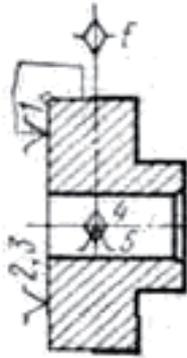
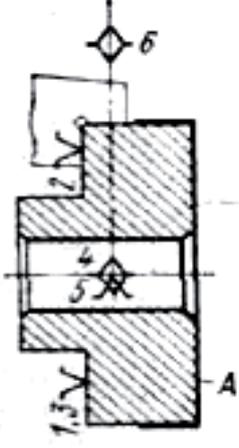
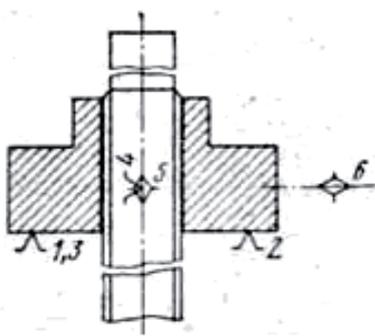
Технологические маршруты изготовления зубчатых колес

На рис. 12.12. показан пример конструкции цилиндрического зубчатого колеса со ступицей и технические требования на его изготовление.

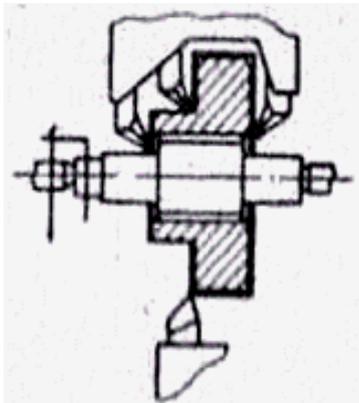
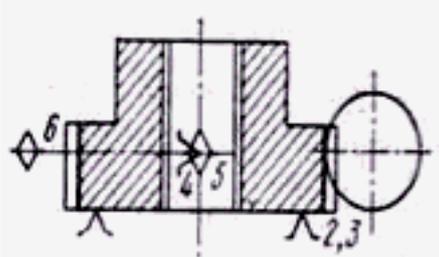
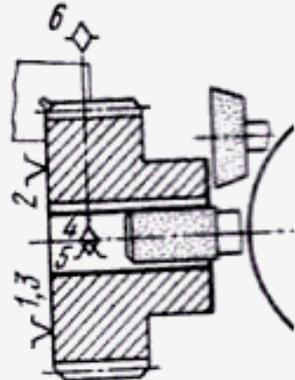
В крупносерийном производстве для изготовления цилиндрического зубчатого колеса диаметром $\Phi 225$ мм и длиной ступицы $L = 60$ мм (материал сталь Ст. 45) в качестве заготовки будет выбрана штамповка. Закаливаемое колесо с модулем $m = 3$ мм и степенью точности 8-Ва ГОСТ 1643-81 будут изготавливать по маршруту, представленному в табл. 12.4.

Таблица 12.4

Технологический маршрут изготовления цилиндрического зубчатого колеса в крупносерийном производстве ($m = 3$ мм, степень точности 8-Ва ГОСТ 1643-81)

№	Операция	Базирование	Оборудование
1	Обрубка и зачистка заготовки	В тисках	Приспособление с абразивным кругом
2	Предварительная токарная обработка с одной стороны, зенкерование базового отверстия	См. эскиз 	Токарно-револьверный полуавтомат
3	Предварительная токарная обработка с другой стороны, чистовая расточка базового отверстия	См. эскиз 	Токарно-револьверный полуавтомат
4	Протягивание шлицевого отверстия комбинированной протяжкой	См. эскиз 	Вертикально-протяжный станок

Продолжение табл. 12.4

№	Операция	Базирование	Оборудование
5	Чистовая токарная обработка по контуру колеса с базированием по шлицевому отверстию и торцу на оправке	См. эскиз 	Токарно-револьверный полуавтомат
6	Слесарная-зачистка заусенцев, контроль	В тисках	Стенд
7	Фрезерование зубчатого венца (достижение восьмой степени точности) колеса	См. эскиз 	Зубо-фрезерный полуавтомат
8	Зубозакругление торцевых поверхностей зубьев по периметру зубчатого венца	См. эскиз операции 7	Полуавтомат для закругления зубьев
9	Термообработка – закалка зубчатого венца и базового отверстия	–	Установка ТВЧ
10	Окончательная обработка базового отверстия и торца шлифованием с базированием по зубчатому венцу колеса	См. эскиз 	Внутришлифовальный станок

Финишная обработка зубчатого венца шлифованием может выполняться с использованием фасонных дисковых шлифовальных кругов по методу копирования. Возможно шлифование зубьев по методу обката с применением двух тарельчатых кругов или абразивного червяка.

При изготовлении незакаленных зубчатых колес закалка зубчатого венца и базового отверстия не выполняется, а для отделки зубчатого венца применяют операцию зубошевингования. На рис. 12.13 приведены примеры конструктивного исполнения цилиндрического червяка-вала и червячного

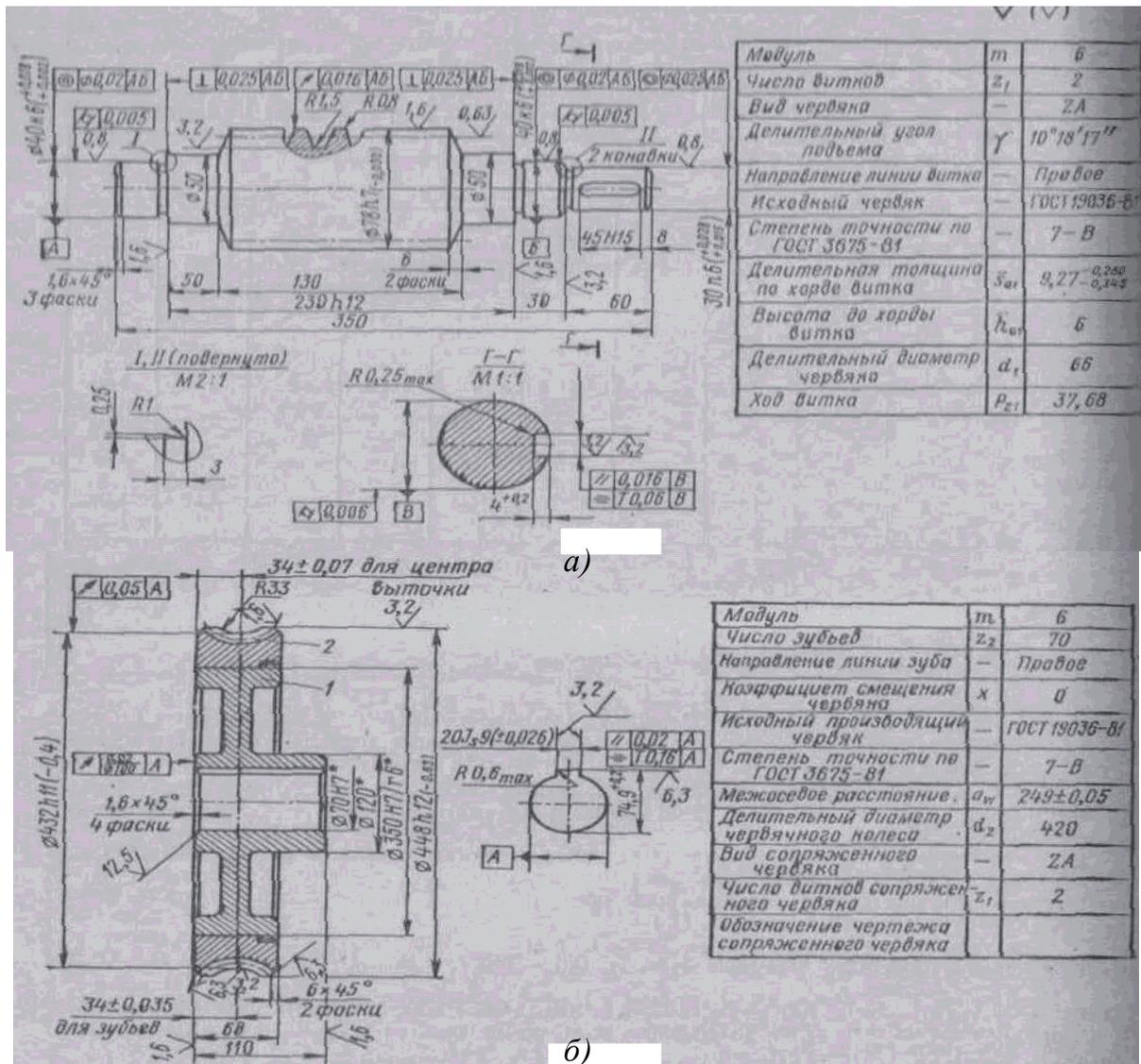


Рис. 12.13. Рабочие чертежи деталей червячных передач: а – червяка-вала; б – червячного колеса

колеса с указанием технических требований на их изготовление. В крупносерийном производстве червяк-вал, приведенный на рис. 12.13, а, будут изготавливать по технологическому маршруту, приведенному в табл. 12.5. В качестве заготовки для червяка-вала будет выбрана штамповка.

Таблица 12.5

Технологический маршрут изготовления червяка в крупносерийном производстве (модуль $m = 6$ мм, степень точности 7-В ГОСТ 3675-81)

№	Операция	Базирование	Оборудование
1	Одновременное фрезерование двух торцов и зацентровка заготовки с обеих сторон	В тисках по цилиндрической поверхности штамповки и по торцу	Фрезерно-центровальный полуавтомат
2	Черновая токарная обработка вала червяка по контуру с обеих сторон (с переустановкой)	В самозажимном патроне в центрах и по торцу	Токарный гидрокопировальный полуавтомат
3	Чистовая токарная обработка вала с обеих сторон, снятие фасок, прорезание канавок (с переустановкой)	В самозажимном патроне в центрах и по торцу	Токарный гидрокопировальный полуавтомат
4	Фрезерование шпоночного паза	В центрах и по торцу	Шпоночно-фрезерный полуавтомат
5	Нарезание винтовой поверхности червяка охватывающей резцовой головкой	В центрах и по торцу	Станок для вихревого нарезания
6	Слесарная операция – снятие заусенцев, притупление острых кромок	В тисках по цилиндрической поверхности	–
7	Предварительное шлифование наружной цилиндрической поверхности червяка	В центрах и по торцу	Круглошлифовальный станок
8	Предварительное шлифование винтовой поверхности червяка	В тисках по цилиндрической поверхности	Резьбошлифовальный станок
9	Термообработка – цементация, закалка винтовой поверхности и ступеней вала	–	Термический цех
10	Шлифование закаленных ступеней и торцов червяка-вала	В центрах и по торцу	Круглошлифовальный станок
11	Шлифование винтовой поверхности червяка	В центрах и по торцу	Резьбошлифовальный станок
12	Полирование винтовой поверхности червяка	В центрах и по торцу	Резьбополировальный станок
13	Промывка и контроль	В центрах и по торцу	Моечная ванна, стенд

Нарезание винтовой поверхности червяка может быть выполнено также на резьбофрезерных станках-полуавтоматах с использованием дисковых модульных фрез, а также на специальных или на модернизированных токарно-винторезных станках путем точения чашечным обкатным резцом, выполненным в форме долбяка. В условиях мелкосерийного и единичного производств нарезание червяков выполняют на токарно-винторезных станках с использованием профильных резьбовых резцов.

Технологический маршрут изготовления корпусной детали

В качестве заготовок для изготовления корпусных деталей коробчатой формы с главными отверстиями под подшипники на боковых стенках применяют отливки из серого чугуна (в серийном производстве) и сварные заготовки из листовой стали (в мелкосерийном и единичном производствах). Основными техническими требованиями на изготовление корпусных деталей являются: точность геометрической формы (прямолинейность, плоскостность) плоских поверхностей и точность их относительного положения; точность диаметральных размеров главных отверстий по *IT8...IT6*; точность расстояний между осями главных отверстий, а также точность положения осей отверстий относительно базовых поверхностей; требуемая шероховатость плоских поверхностей и отверстий.

Для выравнивания внутренних напряжений, возникающих в отливках, заготовки корпусов перед механической обработкой подвергают искусственному или естественному старению. Последний процесс более длительный, так как представляет собой вылеживание заготовок в течение одного или нескольких месяцев под навесом при естественном колебании температуры окружающей среды.

При небольших объемах выпуска и больших колебаниях размеров отливок перед механообработкой выполняют операцию разметки заготовки, на которой рисками определяют положения основных поверхностей детали и оценивают возможность получения годной детали из данной заготовки. Установку и закрепление таких заготовок обычно выполняют с использованием универсальной технологической оснастки (регулируемых опор, винтовых упоров, прихватов, планок и др.), позволяющей правильно выставить заготовку по разметке на столе станка. Статическая настройка станка, подвод инструмента на требуемые размеры также осуществляются с ориентацией на сделанную разметку.

При больших объемах выпуска и хорошем качестве отливок базирование заготовок на операциях механообработки выполняют в приспособлениях. В этом случае обработку выполняют на настроенных станках, где режущий инструмент заранее выставлен на требуемые размеры статической настройки. Ниже, в табл. 12.6, представлен технологический маршрут изготовления корпусной детали в серийном производстве с использованием заготовки-отливки.

Таблица 12.6

Технологический маршрут изготовления корпусной детали
в серийном производстве

№	Операция	Базирование	Оборудование
1	Черновая и чистовая обработки наружных плоскостей или плоскости для двух базовых отверстий, используемых в качестве технологических баз на последующих операциях	В приспособлении по трем плоскостям или по главному отверстию и двум опорным базам	Продольно-фрезерный станок
2	Сверление и развертывание на полученной плоскости двух базовых отверстий	По трем плоскостям	Радиально-сверлильный станок
3	Предварительная обработка фрезерованием остальных наружных поверхностей	Базирование по созданным базам – по плоскости и двум базовым отверстиям	Продольно-фрезерный станок
4	Предварительная обработка (зенкерование, расточка) главных отверстий	Базирование по плоскости и двум базовым отверстиям	Горизонтально-расточной станок
5	Слесарная операция – снятие заусенцев, притупление острых кромок	Базирование по трем плоскостям	Приспособление с абразивным кругом
6	Естественное или искусственное старение для выравнивания внутренних напряжений после снятия с обрабатываемых поверхностей основного припуска		
7	Чистовая обработка фрезерованием наружных поверхностей	Базирование по плоскости и двум базовым отверстиям	Продольно-фрезерный станок
8	Чистовая обработка (расточка, развертывание) главных отверстий	Базирование по плоскости и двум базовым отверстиям	Горизонтально-расточной станок

Окончание табл. 12.6

№	Операция	Базирование	Оборудование
9	Обработка мелких и многочисленных резьбовых отверстий (сверление, зенкерование, нарезание внутренней резьбы метчиками)	Базирование по плоскости и двум базовым отверстиям	Расточной или радиально-сверлильный станок
10	Отделка наружных поверхностей шлифованием	Базирование по плоскости и двум базовым отверстиям	Плоскошлифовальный станок
11	Отделка поверхностей главных отверстий шлифованием	Базирование по плоскости и двум базовым отверстиям	Планетарношлифовальный станок
12	Промывка и контроль	—	Моечная ванна, стенд

Предварительная и чистовая обработка наружных поверхностей может быть выполнена также путем строгания, торцевого точения или плоского протягивания с использованием продольно-строгальных, карусельных и протяжных станков. Продольное строгание простыми дешевыми строгальными резцами представляется эффективным при обработке протяженных поверхностей в форме направляющих, а также при снятии больших припусков. Непрерывное точение плоских круглых, прямоугольных, а также цилиндрических поверхностей, осуществляемое на карусельных станках, по производительности в ряде случаев не уступает фрезерованию. Отделка плоских поверхностей может быть выполнена также путем тонкого фрезерования с использованием торцевых фрез, оснащенных пластинками из сверхтвердых материалов.

В свою очередь отделка главных отверстий при необходимости может быть выполнена путем тонкой расточки на станках для тонкого растачивания или путем хонингования на хонинговальных или на модернизированных сверлильных станках. Для корпусных деталей, у которых твердость материала не превышает 35...40 HRC, отделка отверстий может быть выполнена путем раскатывания с использованием специальных роликовых или шариковых раскатных головок.

В крупносерийном и массовом производствах корпусные детали изготавливают на высокопроизводительных многопозиционных станках-полуавтоматах агрегатного типа или на автоматических линиях, составленных из агрегатных станков. Характерной особенностью такого специального оборудования является высокая концентрация параллельно вы-

полняемых технологических переходов. На агрегатных станках фрезерного типа возможно осуществить одновременную обработку на проход нескольких поверхностей заготовки с различных сторон. Агрегатные станки сверлильно-расточного типа также изготавливают под конкретную деталь. Они имеют ряд шпинделей, позволяющих одновременно выполнять обработку группы главных и мелких отверстий, расположенных как на одной, так и на противоположных сторонах корпусной детали.

12.5. Проектирование технологических операций для изготовления деталей на многоцелевых станках

Построение технологического процесса изготовления деталей на многоцелевых станках и автоматизированных участках имеет свои особенности, выявление и учет которых имеет определяющее значение для нахождения наиболее короткого пути достижения требуемой точности детали и эффективного использования дорогостоящего оборудования. Эти особенности определяют необходимость решения ряда технологических задач, включающих технологическую подготовку производства, проектирование технологии, разработку управляющей программы и создание гибкой технологической оснастки, обеспечивающей быструю настройку станка и высокоэффективную обработку.

Одной из главных особенностей проектирования технологических операций на многоцелевых станках и автоматизированных участках является максимальная концентрация последовательно выполняемых технологических переходов с применением различного режущего инструмента. Заготовку обычно обрабатывают с одной или двух установок, что означает наиболее полное использование принципа единства баз. При этом имеет место широкое использование типовых подпрограмм и стандартных циклов, возможность осуществления замены инструмента на различных этапах выполнения операции с заданием требуемых траекторий его входа, выхода и необходимых режимов резания.

В качестве примера на рис. 12.14 приведена схема технологических переходов, выполняемых на фрезерно-расточной операции при изготовлении корпусной детали на многоцелевом станке вертикальной компоновки. Одиннадцать последовательно заменяемых режущих инструментов обеспечивают выполнение необходимых технологических переходов, включая фрезерование поверхностей, сверление мелких отверстий, нарезание резьбы, обработку поверхностей главного отверстия, фрезерование пазов и др.

Важным технологическим преимуществом такого построения операции является обеспечение высокой точности относительного положения поверхностей, получаемых с одной установки при использовании различного режущего инструмента. Это объясняется тем, что при обработке нескольких поверхностей с одной установки погрешность установки заготовки не влияет на точность их относительного положения. Геометрическая точность станка и точность позиционирования его рабочих органов по заданной программе обеспечивают высокую точность и стабильность автоматического выполнения статической настройки.

Применение многоцелевых станков в автоматизированных участках в ряде случаев позволяет выполнить полную обработку заготовки с одной установки при базировании ее на спутнике по черным необрабатываемым поверхностям. Полная обработка заготовки может быть выполнена на одном, двух или трех многоцелевых станках. При этом обработка осуществляется без перезакрепления заготовки на одном спутнике, который последовательно переходит от одного станка на другой. Построение технологического процесса может осуществляться по гибкой структуре с использованием обходных технологий, позволяющих использовать взаимозаменяемые и взаимодополняемые станки, что существенно повышает производительность за счет уменьшения влияния простоя оборудования.

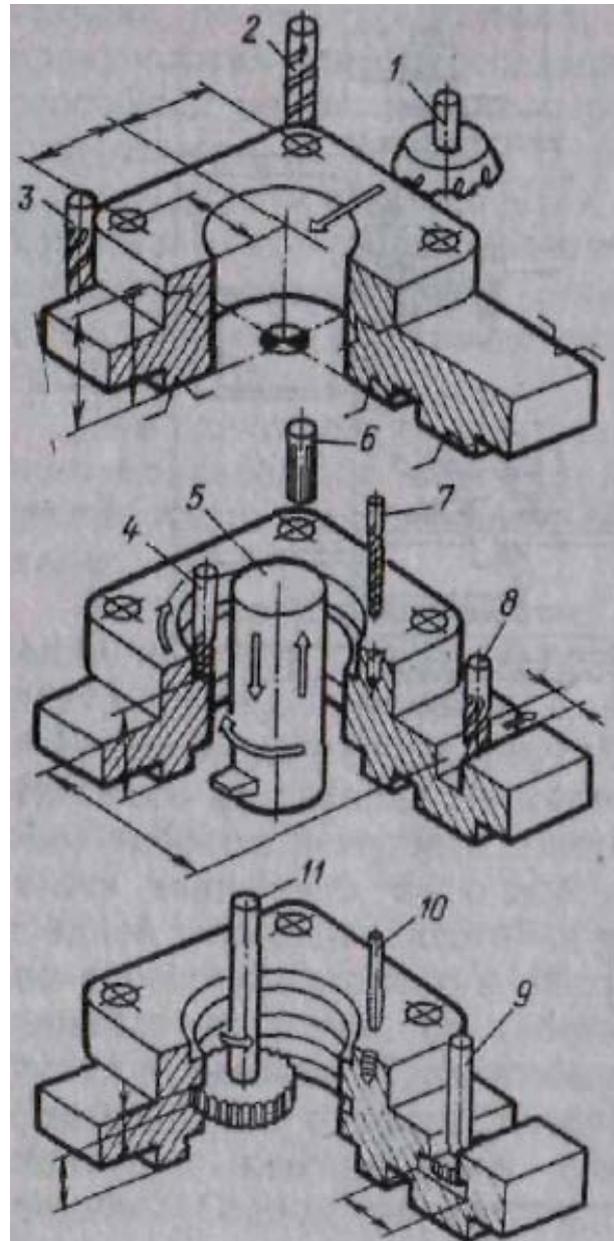


Рис. 12.14. Технологические переходы, выполняемые на операции изготовления корпуса на многоцелевом станке

Важным вопросом при этом является выбор технологических баз, при котором обеспечивается требуемое положение обрабатываемых поверхностей относительно необрабатываемых и равномерность припуска на большинстве обрабатываемых поверхностей. Выполнение рабочих переходов на многоцелевых станках фрезерно-расточного типа происходит в такой последовательности: вначале производят предварительное и окончательное фрезерование плоских поверхностей, затем обрабатывают главные отверстия – сверлят, зенкеруют, растачивают, развертывают, – а в заключение сверлят мелкие отверстия, зенкером снимаются фаски и нарезают метчиками необходимую резьбу.

Если обработка детали с одной установки невозможна, то выполнение технологического процесса осуществляют по этапам. На первой операции обрабатывают поверхности, используемые в дальнейшем в качестве общих технологических баз. А затем после переустановки заготовки на спутнике на последующих операциях обрабатывают практически все оставшиеся поверхности детали с полученных общих баз.

Таким образом, между первым и вторым этапом происходит организованная смена баз, то есть переустановка детали на обработанные поверхности. В качестве общих технологических баз могут быть приняты как основные базы детали, так и другие удобные для этого поверхности, геометрические параметры которых отвечают требованиям выбора баз детали. Для создания удобных технологических баз на детали иногда предусматривают специальные технологические приливы, платики, которые обрабатывают на первой операции. Наиболее удобными технологическими базами для большинства операций являются: три плоскости, образующие координатный угол (базирование по трем плоскостям); плоскость и два отверстия, материализующие схему базирования по плоскости и двум базовым пальцам; плоскость и одно отверстие сравнительно большого диаметра, обеспечивающие схему базирования по плоскости, центрирующему бурту (двойная опорная база) и опорной базе. Эти схемы базирования получили наибольшее распространение. Таким образом, основной задачей первой операции при изготовлении деталей на многоцелевых станках является подготовка удобных технологических баз, обеспечивающих возможность осуществления всей последующей обработки поверхностей деталей с общих поверхностей. Решение этой задачи обеспечивает наиболее полное использование принципа единства баз, в результате чего до минимума сокращается влияние погрешности установки на точность обработки.

Подготавливаемые на первой операции технологические базы должны обеспечить возможность последующей обработки заготовки с пяти сторон (четырех горизонтальных направлений и вертикального). При этом необходимо получить доступность режущего инструмента ко всем обрабатываемым поверхностям. Одним из решений этой задачи является использование подкладных плит (адаптеров), на которые устанавливаются заготовки при закреплении их на спутнике (рис. 12.15). Подкладная плита поднимает заготовку над рабочей поверхностью спутника, ее габаритные размеры меньше размеров установочной базы заготовки, что позволяет выполнять фрезерование заготовки на проход с четырех сторон, не задевая поверхность спутника.

Для уменьшения влияния погрешности установки наиболее ответственные поверхности детали, между которыми проставлены жесткие по допускам размеры, следует обрабатывать на одном станке с одной установки спутника. Это относится в первую очередь к обработке главных отверстий, где необходимо обеспечить требуемую точность межосевых расстояний, точность положения осей отверстий и торцовых поверхностей, а также к обработке комплекта основных баз детали и получению поверхностей вспомогательных баз, требующих точного расположения относительно основных баз.

Влияние погрешности установки спутника на точность относительного положения поверхностей, полученных при обработке на двух станках, можно определить заранее путем расчета. Например, если главное отверстие обрабатывается на одном многоцелевом станке, а мелкие отверстия по торцу и сверлятся, и нарезается резьба на другом станке, то погрешность установки спутника $\omega_y = (a_y, b_y, c_y, \lambda_y, \beta_y, \gamma_y)$ будет влиять на смещение центра резьбовых отверстий относительно оси главного отверстия (см. рис. 12.15). Смещение по трем ко-

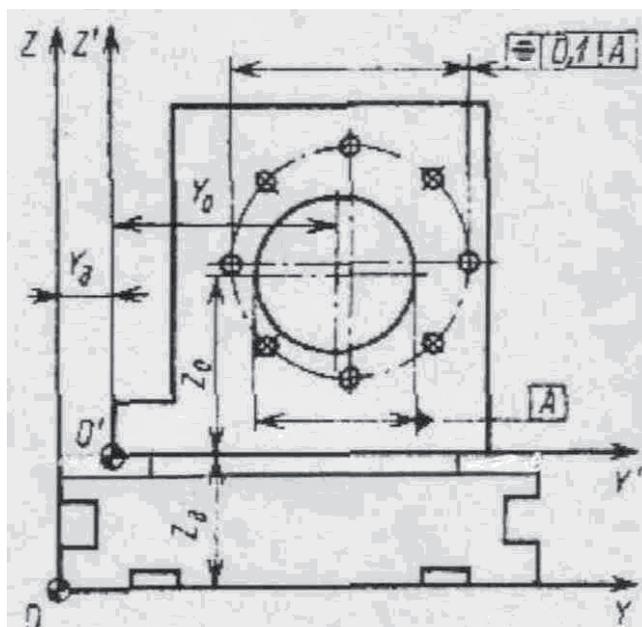


Рис. 12.15. Базирование корпуса на спутнике с использованием подкладной плиты

ординатам $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$ можно определить по формуле приведенной погрешности установки

$$\begin{vmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \\ \Delta_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_y \\ b_y \\ c_y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & -\gamma_y & \beta_y \\ \gamma_y & 0 & -\lambda \\ -\beta_y & \lambda_y & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} \quad (12.1)$$

где X, Y, Z – координаты отверстия в системе координат спутника.

Координаты X, Y, Z зависят от положения ноля детали на спутнике X_d, Y_d, Z_d и от положения отверстия в системе координат детали X_o, Y_o, Z_o :

$$X = X_d + X_o; Y = Y_d + Y_o; Z = Z_d + Z_o.$$

При необходимости определения предельных отклонений ($\Delta_x^B, \Delta_y^B, \Delta_z^B$) и ($\Delta_x^H, \Delta_y^H, \Delta_z^H$) в формулу (12.1) следует подставить соответствующие матрицы предельных смещений (a_y^B, b_y^B, c_y^B) и (a_y^H, b_y^H, c_y^H) матрицы угловых преобразований для верхних π^B и нижних π^H отклонений:

$$\pi_y^B = \begin{vmatrix} 0 & -\gamma_y^H & \beta_y^B \\ \gamma_y^B & 0 & -\lambda_y^H \\ -\beta_y^H & \lambda_y^B & 0 \end{vmatrix}; \pi_y^H = \begin{vmatrix} 0 & -\gamma_y^H & \beta_y^B \\ \gamma_y^B & 0 & -\lambda_y^H \\ -\beta_y^H & \lambda_y^B & 0 \end{vmatrix}.$$

Выбор последовательности обработки, выполняемой в соответствии с задачами изготовления детали и возможностями оборудования, преследует цель такого построения технологической операции, при котором суммарные затраты времени на выполнение основных и вспомогательных технологических переходов будут минимальными. Для этого на детали выявляется совокупность обрабатываемых поверхностей и их геометрических элементов. В соответствии с этим определяют состав режущего инструмента, необходимого для выполнения предварительной и чистовой обработок. Рассматриваются зоны расположения обрабатываемых геометрических элементов, определяют состав и повторяющуюся потребность применения соответствующего инструмента для выполнения обработки в каждой из зон. Выявляют позиции, занимаемые заготовкой и режущим инструментом при выполнении обработки в каждой из зон.

Используя такой подход, определяют совокупность элементов детали, находящихся в данной зоне и объединенных общим инструментом, что позволяет запрограммировать фрагмент операции, выполняемый по отдельной подпрограмме одним инструментом. На основе этого представляется возможным объединение нескольких подобных подпрограмм в комплексную программу по обработке заготовки с одной установки с использованием различных режущих инструментов. Таким образом, операция,

формируемая на каждом станке, представляет собой комплексное сочетание необходимых фрезерных, сверлильных, расточных и других переходов, выполняемых с использованием стандартных циклов и подпрограмм.

У многих корпусных деталей на одной стороне может быть расположено несколько одинаковых поверхностей, например отверстий одинакового диаметра, пазов одинаковой ширины или одинаковых по размерам плоскостей, требующих применения одного режущего инструмента. В этом случае, как правило, целесообразно одним инструментом последовательно обрабатывать все одинаковые поверхности, расположенные по одной стороне, а затем заменить режущий инструмент. Однако при больших размерах детали, когда время относительного перемещения с одной позиции на другую значительно больше, чем время на замену инструмента, целесообразно заменить инструмент и выполнить все переходы по обработке одной поверхности, а затем перейти к обработке другого участка детали.

Таким образом, последовательность выполнения технологических переходов необходимо назначать исходя из задачи достижения требуемой точности детали наиболее коротким путем с наименьшими затратами основного и вспомогательного времени на замену инструмента и выполнение холостых ходов.

При наличии на поверхностях заготовки неравномерного или повышенного припуска фрезерование необходимо выполнять за несколько проходов с применением фрез меньшего диаметра. Все это способствует уменьшению вибраций, уменьшению сил резания и величины упругих перемещений, что благоприятно сказывается на точности обработки.

На станках с ЧПУ сверление отверстий выполняют по программируемым координатам без применения кондукторов с направляющими втулками. Поэтому для уменьшения увода сверла перед сверлением рекомендуется выполнять зацентровку, что позволяет обеспечить достижение более высокой точности положения оси отверстия. Для зацентровки можно использовать сверла диаметром 10...12 мм или специальные центровочные сверла диаметром 4...10 мм. Для отверстий под резьбу диаметром более 25...30 мм помимо сверления выполняют зенкерование или растачивание. Торцы отверстий малого диаметра обрабатывают с осевой подачей цековками или подрезными резцами. Перед нарезанием резьбы в отверстиях снимают фаску коническими зенковками, резцами или сверлами большого диаметра. Нарезание резьбы выполняют с принудительной осевой подачей, равной шагу резьбы. Обработку группы крепежных отверстий целесообразно выполнять с помощью малых

многошпиндельных сверлильных головок, которые, так же как и одиночный инструмент, помещают в инструментальный магазин станка.

Для обработки главных отверстий, полученных литьем, в качестве первого перехода рекомендуется расточка резцом вместо зенкерования. Это позволяет уменьшить отклонение оси отверстия вследствие неравномерного припуска на обработку.

На станках с ЧПУ, имеющих систему круговой интерполяции, обработку отверстий возможно осуществить методом планитарного фрезерования с применением концевой фрезы. Такая обработка программируется стандартным циклом. После заглабления на требуемую величину вращающаяся фреза совершает планитарное перемещение по периметру отверстия, а затем выводится в исходное положение. Цикл обработки может предусматривать предварительное и чистовое фрезерования. В результате достигают 8 – 7-й квалитет точности отверстия и шероховатость поверхности по $Ra = 1,25 \dots 0,8$ мкм. Основным преимуществом этого метода является возможность выполнения предварительной, чистовой и отделочной обработок одним инструментом широкого диапазона больших отверстий, диаметром более 80 мм. При этом отпадает необходимость приобретения дорогостоящих зенкеров и разверток большого диаметра, изготавливаемых под один диаметральный размер.

Для гарантированного достижения требуемой точности положения нескольких отверстий и плоскостей относительно одной базы все эти поверхности следует обрабатывать на одном станке за одну установку. Аналогично следует строить процесс при необходимости достижения требуемой соосности и параллельности осей отверстий, обрабатываемых с двух или нескольких сторон при повороте детали со спутником на столе станка.

Ниже рассматривается пример разработки технологического процесса изготовления корпусной детали на многоцелевых станках автоматизированного участка. Технические требования на изготавливаемый корпус приведены на эскизе (рис. 12.16). Заготовкой для корпуса является отливка, материал – серый чугун СЧ21.

Анализ конструкции и технических требований показывает, что обработку большинства поверхностей корпуса следует выполнять при базировании по плоскости основания (плоскость А), являющейся основной конструкторской базой, относительно которой определено положение отверстий и других плоских поверхностей. Для этого на плоскости А необходимо сделать два базовых отверстия, что позволит осуществить базирование корпуса по плоскости и двум базовым отверстиям. В соответствии с изложенным, определена общая последовательность обработки. На пер-

вой операции следует обработать плоскость А и два базовых отверстия $\Phi 10 H 7$, а на второй – остальные поверхности детали (см. рис. 12.16).

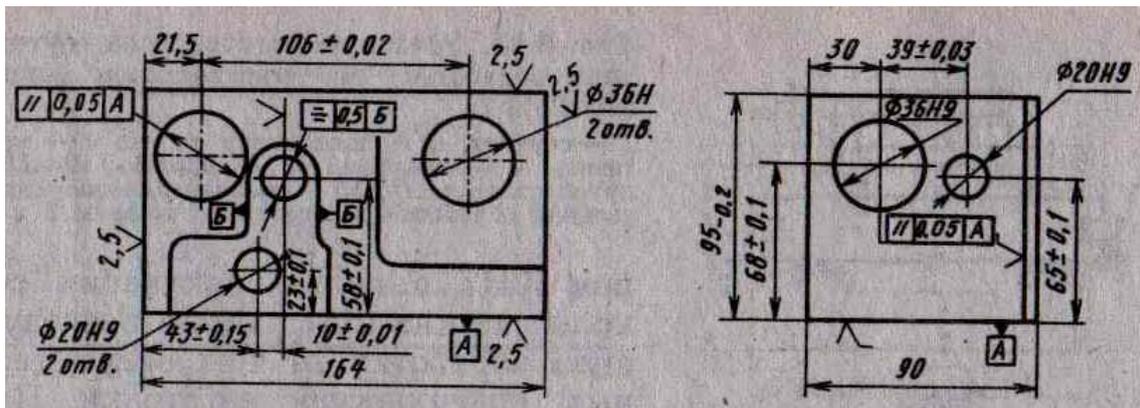


Рис. 12.16. Эскиз корпусной детали, изготавливаемой на многоцелевом станке

Таким образом, обработку корпуса можно выполнить на двух многоцелевых станках автоматизированного участка. Исходными для подробной разработки технологических операций, управляющих программ являются чертеж детали, чертеж заготовки, последовательность обработки поверхностей, представленная в виде маршрута, и технологические данные применяемых многоцелевых станков и необходимых наладок для каждого из станков с ЧПУ.

На первом многоцелевом станке с вертикальным расположением шпинделя можно выполнить первую операцию по обработке основания и двух базовых отверстий. А на втором многоцелевом станке с горизонтальным расположением шпинделя и поворотным столом можно последовательно обрабатывать фрезерованием плоские поверхности со всех четырех сторон, а затем обработать все расположенные на них отверстия.

Заготовку обрабатывают на спутнике, который базируется на станках в координатный угол. Ориентация и закрепление спутника осуществляется с помощью автоматического приспособления, установленного на столе станка. Заготовку на спутнике закрепляет рабочий на участке установки и выверки, после чего заготовка со спутником автоматически транспортируется к требуемому станку.

Определив задачи, выполняемые на каждой операции, и выбрав технологические базы, разрабатывают схему установки заготовки на станке.

На первой операции заготовку базируют по трем плоскостям, при этом выставку ее на спутнике осуществляют по разметке с применением координатно-измерительной машины (рис. 12.17). Установка заготовки с использованием упрощенной разметки позволяет обеспечить решение задач базирования на первой операции.

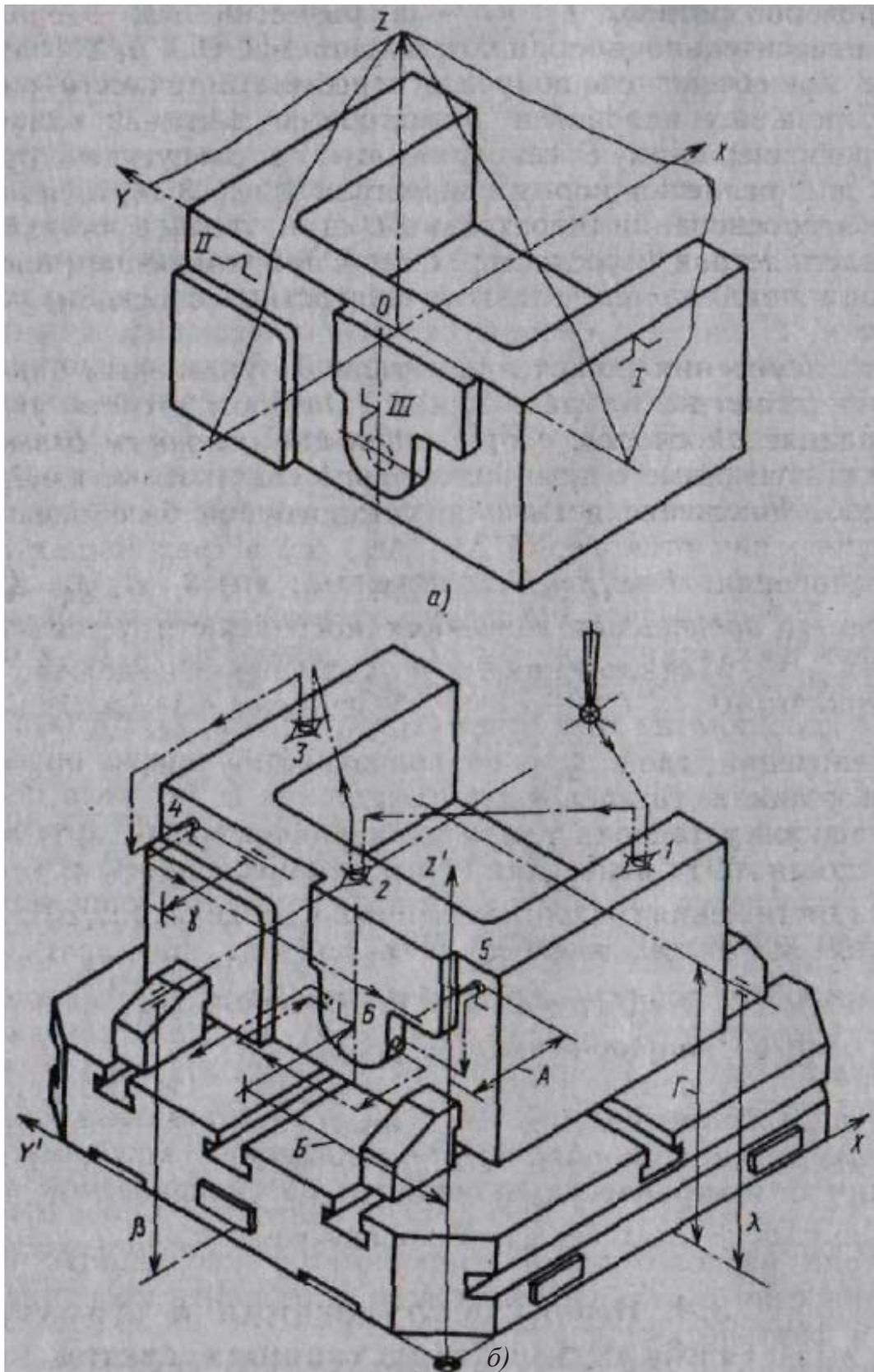


Рис. 12.17. Установка заготовки на спутнике по разметке с применением координатно-измерительной машины: а – координатная система баз заготовки; б – измерение положения заготовки при ее установке

На второй операции заготовку базируют по плоскости и двум базовым отверстиям (рис. 12.18). При этом заготовку устанавливают на подкладную плиту (адаптер), которая в свою очередь закрепляется на спутнике. При наличии поворотного стола такая схема базирования позволяет выполнить фрезерование плоских поверхностей с четырех сторон на проход, а затем — обработать все отверстия. На рис. 12.18 показаны также координатные системы приспособления, спутника и детали, между которыми установлены определенные размерные связи, позволяющие согласовать положение нолей отсчета станка, приспособления, спутника и детали.

Для каждой из обрабатываемых сторон на основе чертежа разрабатывают геометрический план обработки и определяют последовательность выполнения технологических переходов. План обработки корпуса на второй операции представлен на рис. 12.19. Каждому отверстию на плане обработки присваивают определенный номер, который соответствует последовательности обработки отверстия. В соответствии с принятой схемой базирования на плане обработки указывается координатная система детали, начало отсчета которой называется «ноль детали». Относительно этой координатной системы производят пересчет размеров, определяющих положение обрабатываемых поверхностей заготовки. При составлении программы обра-

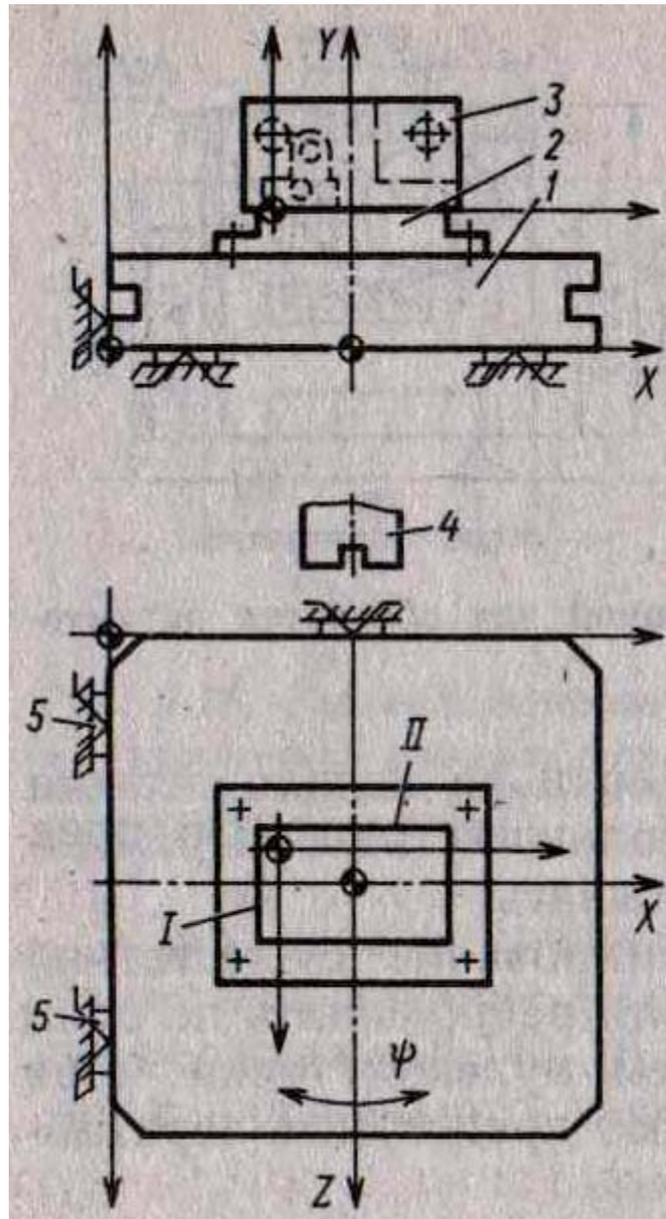


Рис. 12.18. Установка заготовки на спутнике для выполнения второй операции

ботки необходимо задавать средние размеры детали. В случае несимметричного расположения допусков относительно номиналов средние размеры необходимо рассчитывать по формуле:

$$A_{\text{cp}} = A + \frac{\Delta^B + \Delta^H}{2}, \quad (12.2)$$

где A – номинальный размер; Δ^B, Δ^H – верхнее и нижнее предельные отклонения размера.

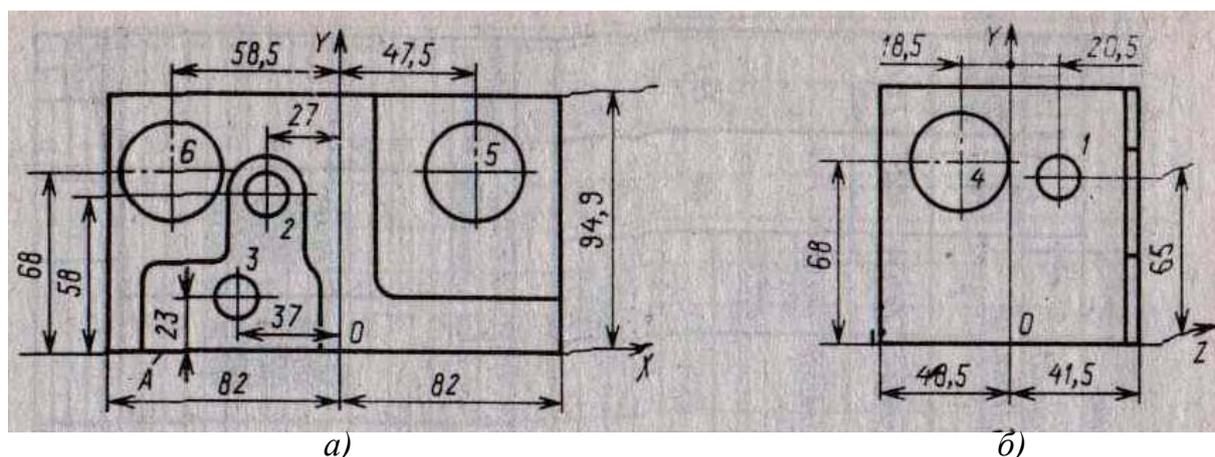


Рис. 12.19. План обработки заготовки на многоцелевом станке: *a* – со стороны главного вида; *b* – со стороны вида сбоку

В результате составляют таблицу координат положения отверстий для каждого плана обработки. При обработке заготовки на втором станке в качестве координатных плоскостей начала отсчета приняты плоскость A , выполняющая роль установочной базы (XOZ), и перпендикулярные к ней две плоскости симметрии XOY и YOZ (см. рис. 12.19). Такое положение начала отсчета означает наличие как положительных, так и отрицательных координат отверстий, что, однако, не вызывает затруднений при разработке программы для системы ЧПУ с плавающим нулем. Для фрезерования поверхности задают координаты положения центра фрезы, соответствующие началу и концу рабочих ходов. При этом учитывают величину врезания и перебега фрезы.

В соответствии с намеченными переходами выбирают необходимый режущий инструмент и определяют режимы резания. В результате выполнения этого этапа составляют операционную карту механической обработки резанием, в которой отражается последовательность выполнения технологических переходов на каждой стороне детали, состав применяемого инструмента и технологической оснастки, режимы

резания и затраты основного и вспомогательного времени, необходимые для выполнения каждого перехода.

На основе операционной карты механической обработки и данных по станку с рекомендациями по заданию формообразующих движений для каждой операции составляют расчетно-технологическую карту (рис. 12.20). В этой карте показывают опорные точки траектории относительного перемещения режущего инструмента, указывают координаты опорных точек положения детали и инструмента, положение нулевой плоскости, радиус инструмента, приводят данные о расположении припуска на обрабатываемых поверхностях заготовки. В расчетно-технологической карте указывают также координаты отверстий и соответствующие геометрические данные планов обработки. Эти цифровые данные записывают шестизначным числом с соответствующим знаком. Первые три цифры определяют величину перемещения в мм, а цифры после запятой определяют соответственно координаты в десятых, сотых и тысячных долях мм, что соответствует точности программируемых перемещений.

Для составления управляющей программы разработанный технологический процесс изготовления детали кодируют с помощью кода *ISO-7bit*. При этом используют специальные таблицы шифра режущего инструмента, таблицы кодов подготовительных и вспомогательных технологических команд, таблицы кодов подачи и частоты вращения шпинделя, коды стандартных циклов. Управляющая программа формируется из ряда последовательных кадров определенного формата.

Кодирование процесса обработки отражают в технологической программной карте (бланк-программе). Технологическая программная карта для второй операции представлена на рис. 12.21.

В левой части программной карты приводится содержание технологических переходов, применяемый режущий инструмент и режимы обработки. Правая часть программной карты составлена в соответствии с принятым форматом кадра управляющей программы, и каждая строка соответствует определенному кадру программы, записанному под своим порядковым номером. Таким образом, технологическая программная карта отражает в кодовой записи последовательность и содержание подготовительных команд и выполняемых технологических переходов, каждый из которых может быть представлен несколькими кадрами управляющей программы.

0.6 Расчетно-технологическая карта

Модель станка	СЧПУ	Операция		Масштаб АСМО	Карта расчетно-технологическая	КВЭ-1 (номер детали)		КРТ
		Наименование	Номер			Корпус	Литера	
8040M02	Размер 2M	Фрезер-свер-ляние-расстояние	2					
<p>вперед</p>								
№ отв.	Координаты		Зенкование	Зенкование	Расстояние	Зенкование	Расстояние	Резьба
	X	Y						
7	-116.000							T D1
8	+055.000	+095.000						
10	-095.000							
11		+062.000						
12	+097.000							
13								
<p>Обработка отверстий</p>								
№ отв.	Координаты		Z _в	Z _г	Z _г	Z _г	Z _г	Резьба
	X	Y						
1	20H9	+020.500	+065.000	+000.000	-001.600			
2	20H9	-027.000	+059.000	+000.000	-004.300			
3	20H9	-037.000	+023.000	+000.000	-002.400			
4	36H9	-018.500	+068.000					
5	36H9	+047.500	+068.000					
6	36H9	-058.100	+068.000					
<p>Резьба</p>								
<p>Фрезерование</p>								

Рис. 12.20. Расчетно-технологическая карта

Станки		Технологическая программная карта				Издание		Наименование детали		Обозначение									
Материал, марка	Станок	Модель	Система	Время, мин		Корпус		КВТ-1											
Чугун СЧ21	Фрезерно-сверлильный расточный	Б90АМФ2	Контур С-10	п	с	у	v	Т _н	Т _в										
Коды строк	Содержание перекода	Наименование и обозначение режущего и вспомогательного инструмента	Режимы обработки	Время, мин		N	C	G	G	G	X	Y	Z	T	S	F	L	M	PC
				п	с														
1	Смена инструмента					№001	С64			X-116000				101					
	Фрезирование					№002	С64												
	Фрезирование	Фреза	250	250		№003	С60			Y+055000			Z-002475	360	560	F48			
	Проборное	торцовый				№004	С67			Y+055000			Z+002000	703	500	F48			
	1 долей стороны	Ф100				№005	С67												
	Смена инструмента	Фрез				№006	С67												
	Фрезирование	торцовый	1000	200		№007	С67			X-095000			Z-002500						
	окончательное	Ф80 зальдор-Р				№008	С64												
	1 долей стороны					№009	С60			X+092000									
	Смена инструмента					№010	С60												
	Фрезирование					№011	С67												
	Смена инструмента					№012	С67												
	Фрезирование					№013	С67												
	Смена инструмента					№014	С67												
	Фрезирование					№015	С60			Y+020100	Y+065000		Z+002000						
	Смена инструмента					№016	С60												
	Фрезирование	Сверло	400	80		№017	С61						Z-007600						
	Смена инструмента					№018	С60												
	Фрезирование	Спиральное				№019	С64												
	Фрезирование	Ф10 РБМ5				№020	С60			Y-027000	Y+038000								
	Смена инструмента					№021	С61						Z-004100						

Рис. 12.21. Технологическая программная карта

В соответствии с данными технологической программной карты закодированную информацию переносят на восьмидорожковую перфоленту. Это делают с помощью устройства для подготовки управляющей программы или на специальных программаторах. С помощью алфавитно-цифровой клавиатуры оператор вводит закодированную технологическую информацию, получая при этом на перфоленте или другом программноносителе управляющую программу и бланк ее распечатки, используемый для контроля правильности разработки программы.

Помимо технологической программной карты технолог-программист составляет для наладчика карту наладки станка, приведенную в рис. 12.22.

В карте наладки показывают точность положения приспособления на столе станка, размерные связи между координатными системами детали, приспособления и станка; указывают измерительные базы и последовательность выполнения настройки станка для согласования нулей отсчета.

Кроме этого, в карте приводят номенклатуру применяемого режущего и вспомогательного инструмента с указанием его вылета и требуемой точности размерной настройки в осевом и радиальном направлениях.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите исходные данные, необходимые для разработки технологического процесса изготовления машины.
2. В какой последовательности осуществляется разработка технологического процесса изготовления машины?
3. С какой целью выполняют критический анализ технических требований и норм точности на изготавливаемую машину?
4. Объясните необходимость ознакомления с намечаемым объемом выпуска машин в единицу времени и общим количеством машин, изготавливаемых по неизменяемым чертежам.
5. Назовите основные этапы и последовательность разработки технологического процесса сборки машины.
6. Для решения каких задач проводят размерный анализ и ознакомление с рабочими чертежами собираемого изделия?
7. Назовите виды сборочных единиц.
8. Каким образом осуществляется построение схемы сборки и что она отражает?

9. С какой детали следует начинать сборку каждой сборочной единицы?
10. В какой последовательности следует разрабатывать технологический процесс изготовления детали?
11. Какие факторы необходимо учитывать при выборе способа получения заготовки для изготовления детали?
12. Как следует выбирать технологические базы для изготовления детали?
13. Какие поверхности следует выбирать в качестве технологических баз для обработки большинства поверхностей, подлежащих обработке?
14. Какие технологические задачи решаются при выборе технологических баз на первой операции?
15. Каким образом следует выявлять методы обработки поверхностей изготавливаемой детали?
16. Объясните принцип формирования технологических операций и выбора необходимого технологического оборудования.
17. Что следует отражать в маршрутной технологической карте?
18. Какая информация отражается в операционной технологической карте?
19. Как рассчитывается трудоемкость технологической операции?
20. Какую информацию должно содержать техническое задание на проектирование приспособления?
21. Назовите технологический маршрут изготовления ступенчатого вала в крупносерийном производстве.
22. В чем заключается различие технологических маршрутов изготовления вала в крупносерийном и мелкосерийном производствах?
23. Назовите технологический маршрут изготовления цилиндрического зубчатого колеса ($m = 3$ мм, степень точности 8-*Ba*) в крупносерийном производстве.
24. Какие операции включает технологический маршрут изготовления корпусной детали в серийном производстве?
25. При каком производстве для изготовления корпусных деталей применяют агрегатные станки сверлильно-расточного типа?
26. В чем заключается особенность проектирования технологиче-

ских операций на многоцелевых станках и автоматизированных участках?

27. С какой целью используют спутники при изготовлении корпусных деталей на многоцелевых станках и автоматизированных участках?
28. Как следует определять последовательность выполнения технологических переходов на многоцелевых станках?
29. Какие размеры детали следует задавать в разрабатываемой управляющей программе станка?
30. Какую информацию содержит расчетно-технологическая карта?
31. Как составляют карту наладки многоцелевого станка?

Глава 13. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

13.1 Обработка наружных и внутренних цилиндрических поверхностей

Точение является одним из основных методов обработки для получения поверхностей вращения с использованием различных резцов. В соответствии с выполняемыми переходами применяют универсальные – проходные, расточные, подрезные – или специальные профильные – канавочные и резьбовые – резцы. При точении применяют также ротационные резцы, круглая режущая пластина которых может вращаться принудительно или от сил трения между инструментом и стружкой. Однако с помощью таких резцов можно обрабатывать только поверхности на проход с плавно изменяющейся образующей.

Обработку точением выполняют на токарных, токарно-револьверных и карусельных станках, на которых главное вращательное движение сообщается заготовке, устанавливаемой в центрах или в патроне на шпинделе, а движение подачи сообщается резцу, установленному на суппорте станка.

Если станок оснащен соответствующей системой программного управления, например токарный гидро-копировальный станок или станок с ЧПУ, то продольное точение (обтачивание и растачивание) позволяет получать на детали различные по геометрии профильные поверхности вращения и их сочетания. Различные профильные поверхности можно получить также методом копирования при использовании широких фасонных резцов путем поперечного точения. Длина обрабатываемой фасонной поверхности обычно не превышает 0,3 диаметра, при этом ширина фасонных резцов может составлять 50...80 мм.

При растачивании отверстий в деталях на расточных станках главное вращательное движение сообщается оправке с резцом, установленной в шпинделе станка, а движение продольной подачи сообщается заготовке, закрепленной на столе станка. При этом получают только цилиндрические поверхности, диаметр которых соответствует вылету резца на оправке. Расточные резцы на оправках лучше других инстру-

ментов обеспечивают прямолинейность оси отверстия и более высокую точность положения оси отверстия относительно базы.

В случае использования резцов из быстрорежущей стали (Р6М5, Р6М3, Р9К5 и др.) скорость резания v при точении составляет 30...90 м/мин, при использовании твердосплавных резцов (Т15К6, Т5К10, ВК6, ВК8 и др.) $v = 60...800$ м/мин, а резцы с режущими элементами из сверхтвердых инструментальных материалов позволяют выполнять точение со скоростью более 1000 м/мин. Скорость резания выбирают с учетом стойкости инструмента, а величину продольной подачи – с учетом требований шероховатости получаемой поверхности и других параметров точности.

Применяемые на практике режимы обработки стальных и чугунных заготовок (скорость v , подача s , глубина резания t) приведены в табл. 13.1.

Таблица 13.1

Режимы резания, применяемые при точении стальных и чугунных заготовок

Точение, расточивание	Обработка чугуна			Обработка стали		
	t , мм	s , мм/об	v , м/мин	t , мм	s , мм/об	v , м/мин
черновое	4 – 12	1 – 3,5	30 – 130	2 – 10	1 – 3,0	40 – 100
получистовое	2 – 4	0,35 – 1,5	100 – 185	1 – 3	0,35 – 1,5	80 – 150
чистовое	0,15 – 2	0,05 – 0,5	170 – 320	0,15 – 1,5	0,05 – 0,5	120 – 320

За счет увеличения скорости резания твердосплавные резцы обеспечивают повышение производительности обработки по сравнению с быстрорежущими резцами в среднем до пяти раз. Они особенно эффективны при обработке труднообрабатываемых конструкционных материалов.

Сверхтвердые инструментальные материалы (композиты эльбор-Р, гексанит-Р и др.) применяют для обработки заготовок точением из закаленных сталей и чугунов. Стойкость таких резцов в 5...12 раз выше твердосплавных, что позволяет повысить не только скорость резания, но и размерную точность обработки. В результате эффективность применения резцов со сверхтвердым материалом в 5...6 раз выше, чем твердосплавных, что особенно проявляется при обработке высокопрочных закаленных сплавов. Однако в связи с невысокой прочностью таких ма-

териалов их применяют только при чистовой и получистовой обработке с малой глубиной резания и подачей. При чистовом точении резцами с элементами из сверхтвердых инструментальных материалов рекомендуется снимать припуск не более 0,1...0,2 мм, а продольную подачу выбирают в диапазоне $s = 0,03 \dots 0,15$ мм/об.

Применяемые для точения резцы по конструкции бывают цельными, составными с приваренными режущими пластинками и с механическим креплением сменных неперетачиваемых многогранных режущих пластин. Последние имеют ряд технологических преимуществ. Они отличаются большим разнообразием и широко применяются как на универсальном, так и на автоматизированном станочном оборудовании. Достижимые параметры точности при точении приведены в табл. 7.2 (см. параграф 4.1 данного учебника).

Расточные резцы с твердосплавными пластинами применяют как для черновой обработки отверстий в литой заготовке, так и для чистовой обработки отверстий в корпусных деталях. Преимущество расточных резцов заключается в их простоте и универсальности, благодаря которой представляется возможным путем регулирования положения инструмента на оправке получать отверстия различного диаметра. Это особенно важно при необходимости обработки отверстий среднего и большого диаметра в условиях единичного и мелкосерийного производств, когда не всегда имеется в наличии мерный инструмент. Расточные резцы с помощью винтов или клиньев закрепляют на оправках или борштангах, используя при этом микрометрические винты для точной выставки резца на требуемый размер. Особенности геометрии расточных резцов являются несколько большие задние углы α , при которых уменьшается трение о стенки отверстия, и относительно малые углы в плане $\varphi \leq 90^\circ$, что способствует уменьшению радиальной составляющей силы резания, существенно влияющей на упругие перемещения оправки, а следовательно, и на точность обрабатываемого отверстия.

Растачивание резцами лучше, чем какой-либо другой метод, обеспечивает прямолинейность оси обрабатываемого отверстия и более высокую точность его положения относительно базы. Точность диаметральных размеров при черновом растачивании соответствует 11-му, 12-му квалитетам, при чистовом — 9-му, 10-му квалитетам. При чистовом точении отклонение геометрической формы отверстий диаметром 50...120 мм не превышает 12 мкм, а параметры шероховатости поверх-

ности $Ra = 2,5 \dots 5$ мкм. Растачивание отверстия можно выполнять одним или одновременно двумя резцами, установленными на оправке в противоположном направлении. При двустороннем растачивании компенсируются упругие перемещения оправки, обусловленные радиальной составляющей силы резания, уменьшается уровень вибрации режущего инструмента и обеспечивается более высокая производительность.

Тонкое (алмазное) растачивание выполняют на специальных станках для тонкой расточки, которые имеют высокую геометрическую точность, высокую жесткость и диапазон специальных режимов обработки. Этот процесс выполняют при высоких скоростях резания, малой (ползучей) подаче и малой глубине резания.

В результате имеют место малые силы резания, малое тепловыделение, что способствует достижению высокой точности положения отверстия и его диаметрального размера. При этом охлаждение, как правило, не применяют. Режимы тонкой расточки отверстий приведены в табл. 13.2.

Таблица 13.2

Режимы тонкой расточки отверстий

Параметры	Для чугуна	Для стали	Для цветных сплавов
V , м/мин	100...200	120...250	До 1000
S , мм/об	0,03...0,15	0,02...0,12	0,02...0,1
t , мм	0,1...0,35	0,1...0,3	0,05...0,4

Станки для тонкой расточки обычно одношпиндельные, горизонтальной или вертикальной компоновки. На станках вертикальной компоновки точность выше, так как исключается влияние веса расточной оправки на точность обработки. В качестве инструмента обычно применяют доведенные твердосплавные расточные резцы. Для обработки цветных сплавов применяют также резцы из сверхтвердых материалов и с искусственным алмазом. Расточные оправки высокой жесткости часто делают со встроенными виброгасителями. В результате обработки достигают точность диаметральных размеров по $IT\ 6$ и $IT\ 7$. Точность геометрической формы: овальность, конусность в пределах 3-4 мкм. Шероховатость поверхности $Ra = 1,25 \dots 0,32$ мкм. Этот процесс используют в основном для обработки гладких сквозных отверстий диаметром до 200 мм.

Сверление применяют для получения цилиндрических отверстий в сплошном материале, при этом в качестве режущего инструмента используют сверла различного диаметра – $d = 3 \dots 30$ мм. Сверление осуществляют на сверлильных, токарных, расточных, фрезерных, многоцелевых и агрегатных станках. Формообразование отверстия получают путем относительного вращения инструмента со скоростью v и его подачи s в направлении оси получаемого отверстия.

Сверление обеспечивает получение сквозных и глухих отверстий, обработка которых может быть окончательной или предварительной для последующего зенкерования, расточки, развертывания или нарезания резьбы.

По конструкции сверла бывают цельные из быстрорежущих сталей (P18, P9, P6M5, 9XC) и составные с использованием напаянных быстрорежущих (P6AM5, P6M5K5, P9K5) или твердосплавных пластин (T15K6, BK6, BK8). Последние обеспечивают повышение производительности обработки и стойкости сверл до двух и более раз.

Основными базами сверла, определяющими его положение в шпинделе, являются коническая или цилиндрическая хвостовая части. Установка сверла в шпиндель станка может быть выполнена напрямую или с помощью переходной конической втулки и сверлильного патрона. Аналогично происходит закрепление и других консольных инструментов – зенкеров, разверток, метчиков и расточных оправок.

Для получения неглубоких отверстий, длина которых не превышает $(3 \dots 5)d$ диаметра, применяют обычные спиральные сверла. Глубокие отверстия, длина которых более $(5 \dots 7)d$ диаметра, получают с использованием специальных сверл – шнековых, ружейных с внутренней подачей СОЖ, кольцевых. Кольцевые сверла (кольцевые резцовые головки) применяют для получения отверстий $d > 40$ мм с меньшими затратами мощности на сверление. При этом имеет место экономия металла, который не превращается в стружку, а высверливается в виде стержня, используемого для других целей.

Для получения глубоких отверстий спиральными сверлами на обычных станках и на станках с ЧПУ применяют специальные циклы глубокого сверления, когда при заглублении инструмента на величину $(1 \dots 1,2)d$ диаметра осуществляется периодический вывод сверла из отверстия. При этом минутную подачу сверла s_m рекомендуется уменьшать на 30 % при заглублении на величину $(3 \dots 6)d$ и на 40 % при заглублении на $(6 \dots 8)d$.

Процесс повторного сверления с использованием сверла большего диаметра D называется рассверливанием. Глубина резания t при сверлении составляет

$$t = 0,5 d, \text{ а при рассверливании } t = 0,5 (D - d),$$

где D – диаметр предшествующего сверла.

Желательно, чтобы диаметр предшествующего сверла был больше длины перемычки второго сверла. Это позволяет уменьшить осевую силу резания при рассверливании большим сверлом.

Скорости резания при сверлении составляют: для сверл из быстрорежущих сталей $v = 10 \dots 30$ м/мин, для твердосплавных сверл $v = 60 \dots 150$ м/мин. Осевая подача может быть рассчитана с достаточным приближением по формулам:

- для сверл из быстрорежущих сталей $s = 0,012 d$ мм/об;
- для твердосплавных сверл $s = 0,085 d$ мм/об;
- для твердосплавных кольцевых сверл $s = 0,0025 d$ мм/об.

Диапазон подач для сверл из быстрорежущих сталей $s = 0,02 \dots 0,3$ мм/об, для твердосплавных сверл $s = 0,06 \dots 0,4$ мм/об. Подачи при рассверливании берутся в 1,5...2 раза выше, чем при сверлении.

Глубина резания при глубоком кольцевом сверлении составляет $t = 0,15 d$ мм, а скорости резания для твердосплавных сверл $v = 130 \dots 200$ м/мин.

Сверление выполняют с обильной подачей под давлением в зону резания смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), благодаря которой происходит удаление стружки из зоны резания, снижение температуры и создание благоприятных условий процесса резания.

Отверстия диаметром более 25 мм получают за 2-3 рабочих хода, последовательно применяя спиральные сверла большего размера, например $d 12, d 25$ мм. Характерными отклонениями геометрической формы отверстий являются овальность в поперечном сечении и небольшая конусность в продольном. При этом получаемое отверстие вследствие «разбивки» имеет несколько больший диаметр, чем диаметр сверла.

Сверление и рассверливание отверстий спиральными сверлами позволяет обеспечивать точность диаметральных размеров по 9-му, 13-му квалитетам.

Отклонения геометрической формы отверстий диаметром до 50 мм находятся при этом в пределах 12...40 мкм, а параметр шероховатости поверхности $Ra = 6,3 \dots 12,5$ мкм для сверл диаметром до 15 мм и $Ra = 12,5 \dots 25$ мкм для сверл большего диаметра.

Для уменьшения влияния увода сверл, с целью достижения точности межцентровых расстояний и положения отверстий относительно базы, перед сверлением отверстий рекомендуется выполнять зацентровку. Это особенно важно для отверстий диаметром более 12 – 15 мм, когда допуск на межцентровое расстояние составляет менее 0,2 – 0,3 мм. Для зацентровки следует использовать сверла диаметром 10 – 12 мм, а также специальные центровочные сверла диаметром 4 – 10 мм.

Зенкерование является одним из методов предварительной, а иногда и окончательной обработки ранее полученных отверстий в отливках, штамповках или после сверления. Целью зенкерования является получение более точных по размеру и форме отверстий. В качестве режущего инструмента используют зенкеры, которые за счет наличия большего числа режущих зубьев (три – шесть) и отсутствия поперечной режущей кромки делают процесс зенкерования более производительным по сравнению со сверлением или растачиванием резцом. С помощью зенкеров обрабатывают также смежные с отверстием торцевые поверхности бобышек, выступов, уступов, фасок. Зенкеры по конструкции бывают цельные и насадные. В качестве материала их режущей части применяют привариваемые пластины из быстрорежущей стали Р6М5 или твердых сплавов (ВК6, ВК8, Т5К10, Т15К6 и др.).

Глубина резания при зенкеровании определяется также, как и при рассверливании, и может иметь величину $t = 1 \dots 4$ мм. Скорость резания при зенкеровании составляет: для зенкеров из быстрорежущих сталей $v = 15 \dots 25$ м/мин, для твердосплавных $v = 40 \dots 150$ м/мин.

Значение осевой подачи при зенкеровании устанавливают больше, чем при сверлении или рассверливании. Подача может быть рассчитана с достаточным приближением по формуле

$$s = 0,025 d \text{ мм/об,}$$

где d – диаметр зенкера, мм.

Диапазон подач для зенкеров из быстрорежущих сталей $s = 0,03 \dots 0,4$ мм/об, для твердосплавных $s = 0,45 \dots 1,6$ мм/об.

С целью уменьшения увода инструмента и достижения более высокой точности положения оси отверстия применяют кондукторные втулки для центрирования сверл и зенкеров или специальные зенкеры с направляющей частью, обеспечивающей центрирование по предварительно обработанному отверстию.

Припуск, снимаемый за один рабочий ход насадными зенкерами

$d = 55...170$ мм со вставными ножами с напайными твердосплавными пластинами, составляет 2...4 мм на сторону. Зенкерование является производительным методом обработки отверстий, который широко применяют на различных станках и автоматических линиях. По сравнению со сверлом многозубый зенкер имеет меньшую склонность к уводу, что позволяет в значительной степени исправить отклонение оси отверстия и обеспечить его прямолинейность. Однопроходное зенкерование отверстия в литой заготовке позволяет получать точность диаметральных размеров по 11-му, 12-му квалитетам. Погрешность геометрической формы отверстия $D = 40...150$ мм составляет при этом 30...50 мкм. При получистовой обработке зенкерование обеспечивает точность отверстия по 10-му квалитету, отклонения геометрической формы для отверстий диаметром 40...150 мм в пределах 15...20 мкм и параметр шероховатости поверхности $Ra = 2,5...5$ мкм.

Для обработки отверстий сравнительно больших диаметров (от 100 мм до 250 мм и более) вместо зенкеров применяют многозубые резцовые блоки и многозубые резцовые головки. Наличие нескольких одновременно работающих резцов (4, 6, 8, 12) обеспечивает более высокую производительность и распределение глубины резания по резцам, что позволяет снимать за один проход большой припуск – до 15 мм.

При зенкеровании отверстий для одновременной обработке близлежащих сопрягаемых торцевых поверхностей применяют специальные зенкеры –

зенковки, цековки (рис. 13.1). Зенковки применяют для обработки фасок в отверстиях, а цековки используют для получения цилиндрических углублений

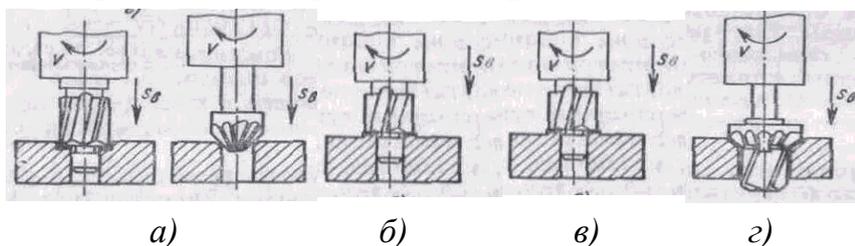


Рис. 13.1. Технологические переходы, выполняемые зенкерованием: *а* – зенкерование заглабления; *б* – зенкерование фаски; *в* – зенкерование торца бобышки; *г* – одновременная обработка конической и цилиндрической части отверстия комбинированным зенкером

и создания торцевой поверхности под головки винтов или под гайки. Они могут быть выполнены за одно целое с зенкером или в виде насадных головок с несколькими зубьями. При этом цековки обычно имеют направляющую часть, благодаря которой обеспечивают соосность и перпендикулярность с ранее полученным отверстием (рис. 13.1, *а*, *в*).

Развертывание является одним из наиболее распространенных методов отделки отверстий, где в качестве режущего инструмента используется развертка, которая может быть как цилиндрической, так и конической. В отличие от зенкеров развертка имеет большее число зубьев – от 6 до 12 – и снимает при этом значительно меньший припуск $z = 0,05 \dots 0,3$ мм. Для отверстий $D = 20 \dots 50$ мм припуск на диаметр под предварительное развертывание $z = 0,25$ мм, под точное развертывание $z = 0,14$ мм и под тонкое развертывание $z = 0,05 \dots 0,12$ мм.

Развертывание выполняют с более низкими режимами резания по сравнению с зенкерованием и при обильном охлаждении с помощью СОЖ, подаваемой под давлением 0,5 МПа.

Скорость резания при развертывании составляет: для разверток из быстрорежущих сталей $v = 5 \dots 12$ м/мин, для твердосплавных $v = 20 \dots 50$ м/мин. Диапазон подач для цилиндрических твердосплавных разверток $d = 15 \dots 60$ мм составляет $s = 0,3 \dots 1,2$ мм/об. Развертывание выполняют комплектом разверток за 1...3 прохода.

Для отверстий сравнительно малых диаметров (до $D = 5 \dots 10$ мм) развертывание выполняют непосредственно после сверления. Для отверстий с большими диаметральными размерами развертывание выполняют после чистового зенкерования или чистовой расточки.

Развертывание обычно выполняют на тех же станках, которые используют для выполнения предшествующих технологических переходов – сверления, зенкерования, расточки. Все эти переходы можно выполнить на горизонтально- и координатно-расточных станках, на вертикально- и радиально-сверлильных станках, на токарных и токарно-револьверных станках, на агрегатных станках, а также на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах. При этом с целью достижения более высокой точности размеров и относительного положения отверстий эти переходы целесообразно выполнять при наиболее полном соблюдении принципа единства баз с одной установки обрабатываемой заготовки. В процессе выполнения ремонтных или монтажных работ развертывание отверстий малого и среднего диаметра может выполняться слесарем вручную, для чего применяют не машинные, а специальные ручные развертки с квадратным хвостовиком.

Для исключения разбиения отверстия, получаемого в результате смещения оси развертки относительно обрабатываемого отверстия, развертки устанавливают на шарнирные оправки. В итоге получают

«плавающую» развертку, которая самоустанавливается по обрабатываемому отверстию, что позволяет в 1,5...2 раза повысить точность геометрической формы отверстия.

В машиностроении применяют также плавающие двухлезвийные развертки, выполненные в виде резцовых пластин с регулируемым и нерегулируемым диаметральным размером. Развертывание обеспечивает получение отверстий высокой точности: диаметральные размеры 6...8 квалитет; геометрическая форма отверстий 5...8-я степень точности формы; шероховатость поверхности $Ra = 2,5...0,32$ мкм.

Протягивание отверстий является одним из методов чистовой обработки. Оно выполняется на горизонтально- и вертикально-протяжных станках, развивающих тяговое усилие от 5 до 60 т. В качестве режущего инструмента применяют многозубые круглые протяжки, которые могут быть цельными, сборными или составными.

Изготавливают протяжки из легированных инструментальных сталей типа сталь ХВГ, из быстрорежущих сталей Р6М5, Р9К5. Зубья протяжки могут быть оснащены пластинками из твердых сплавов ВК8, ВК6М и др. Протягивание является высокопроизводительным способом обработки цилиндрических, шлицевых и профильных отверстий. Протягивание выполняют после сверления, зенкерования или расточки. За один ход протяжки в отверстии снимается весь припуск и обеспечивается достижение точности отверстия по 6...9-му квалитетам и шероховатости поверхности в пределах $Ra = 1,25...0,63$ мкм. Это объясняется тем, что основной припуск в отверстии снимают зубья, расположенные на режущей части протяжки, а калибрующие зубья, расположенные в конце протяжки, на которые приходится малая нагрузка, а следовательно и малый износ, обеспечивают окончательное формирование точности размера и шероховатости поверхности отверстия.

Скорость резания при протягивании, определяемая как главное движение инструмента вдоль оси отверстия, составляет $v = 2...15$ м/мин. Она ограничивается требованиями шероховатости поверхности получаемого точного отверстия. Подача на зуб S_z [мм/зуб] при протягивании обеспечивается путем увеличения диаметра каждого последующего зуба протяжки на определенную величину. Подача на зуб S_z у круглых протяжек для обработки соответствующих материалов составляет:

Для стали	Для чугуна	Для алюминия	Для бронзы и латуни
0,015...0,03	0,03...0,1	0,02...0,05	0,05...0,12

Припуск для протягивания, оставляемый в круглом отверстии после сверления или зенкерования, можно рассчитать по формуле:

$$Z = 0,005D + (0,1 \dots 0,2) \cdot \sqrt{L},$$

где D – номинальный диаметр отверстия, мм; L – длина протягиваемого отверстия, мм.

В зависимости от диаметрального размера протягиваемого отверстия назначаемый припуск в общем случае составляет 0,3...0,5 мм на диаметр.

При обработке отверстия зубчатого колеса вначале круглой протяжкой получают отверстие (см. рис. 13.2, а), а затем плоской протяж-

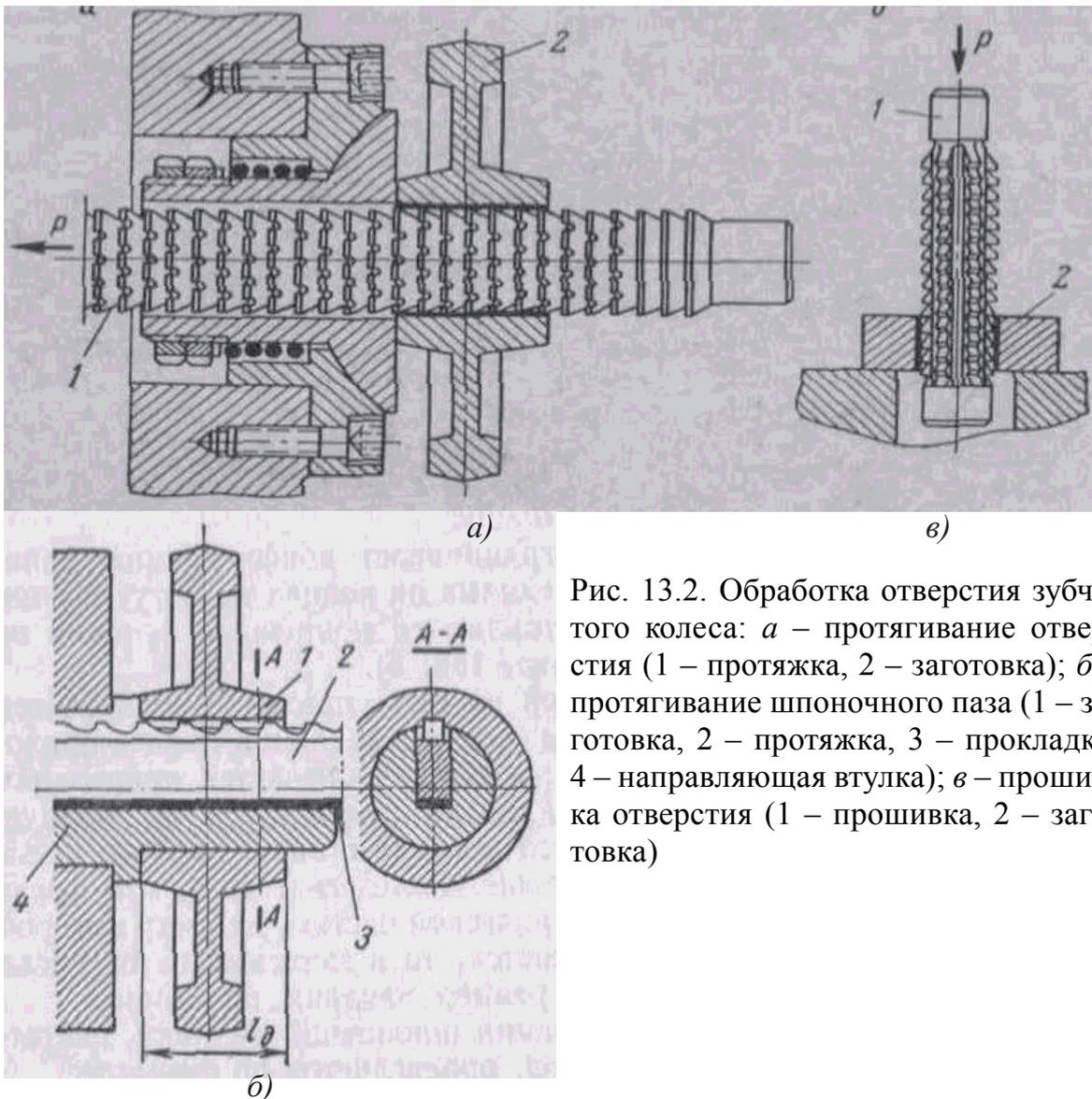


Рис. 13.2. Обработка отверстия зубчатого колеса: а – протягивание отверстия (1 – протяжка, 2 – заготовка); б – протягивание шпоночного паз (1 – заготовка, 2 – протяжка, 3 – прокладка, 4 – направляющая втулка); в – прошивка отверстия (1 – прошивка, 2 – заготовка)

кой протягивают шпоночный паз в отверстие (рис. 13.2, б). Для обработки шлицевых отверстий применяют комбинированные шлицевые

протяжки, обеспечивающие за один рабочий ход протягивания отверстия и шлицевых пазов. В процессе протягивания заготовка самоустанавливается (базируется) по наружной поверхности протяжки, а торец заготовки опирается в неподвижную или подвижную (плавающую) опору (см. рис. 13.2, *a*). В последнем случае протягивание можно выполнить при больших отклонениях от перпендикулярности торца к оси отверстия.

Для чистовой обработки отверстий сравнительно короткой длины и при малых снимаемых припусках применяют также метод прошивки отверстия, когда в качестве режущего инструмента применяется прошивка (рис. 13.2, *в*). Геометрия режущей и калибрующей части прошивки практически не отличается от геометрии протяжки. Однако длина прошивки в несколько раз меньше, чем длина протяжки, и в отличие от нее прошивка работает на сжатие, так как она не протягивается, а проталкивается вдоль оси отверстия под давлением пресса.

Путем протягивания можно получить отверстия различной геометрической формы, в том числе и отверстия с зубьями эвольвентного профиля для колес внутреннего зацепления. Однако для реализации этого требуется изготовление специальных дорогостоящих профильных протяжек. Поэтому операцию протягивания применяют в основном в условиях серийного и массового производств.

Шлифование является эффективным методом отделки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей, осуществляемым с использованием в качестве режущего инструмента различных по геометрии шлифовальных кругов. Шлифовальные круги изготавливают из абразивных материалов, имеющих высокую твердость, что позволяет выполнять высокопроизводительную обработку как незакаленных, так и закаленных поверхностей, обеспечивая достижение повышенных требований по точности размеров ($IT\ 8 \dots IT\ 6$) и шероховатости поверхности ($Ra = 0,32 \dots 0,1$ мкм).

Шлифование наружных цилиндрических поверхностей выполняют на круглошлифовальных станках, а внутренних – на внутришлифовальных с использованием схем продольного, врезного и глубинного шлифования.

Продольное круглое шлифование применяют для обработки протяженных цилиндрических или конических поверхностей с использованием дисковых шлифовальных кругов (см. рис. 12.11). Скорость вра-

щения шлифовального круга v_k (м/с), которую принимают за скорость резания $v_k = v$, рассчитывают по формуле:

$$v_k = \frac{\pi \cdot d_k \cdot n_k}{1000 \cdot 60} \quad (13.1)$$

где d_k и n_k – соответственно диаметр круга и частота его вращения.

Вращение заготовки передается от шпинделя через хомутик. Скорость вращения заготовки v_3 (м/мин) рассчитывают аналогично, подставляя в формулу (13.1) значения диаметра заготовки d_3 и частота ее вращения n_3 и исключая при этом деление на 60. Скорость резания $v_k = v$ при круглом шлифовании следует назначать наибольшую с учетом возможной частоты вращения шпинделя n_k и применяемого шлифовального круга. В зависимости от марки обрабатываемого материала рекомендуется назначать скорость резания в пределах, указанных в таблице 13.3.

Таблица 13.3

Рекомендуемая скорость резания при шлифовании

Обрабатываемый материал	Скорость резания, м/с
Углеродистые и низколегированные стали	25...60
Закаленные и высоколегированные стали	15...25
Чугун	20...30
Цветные сплавы	20...30

Шлифование на круглошлифовальных и внутришлифовальных станках выполняется по определенному циклу, в котором происходит автоматическое переключение режимов при выполнении предварительного шлифования, чистового и «выхаживания». При выхаживании, которым заканчивается выполнение чистового шлифования, отсутствует поперечная подача и съем металла происходит за счет образованного в технологической системе натяга до момента выведения его в ноль. Рекомендуемые режимы круглого шлифования и назначаемые припуски приведены в табл. 13.4. и табл. 13.5.

Для шлифования жаропрочных сталей приведенные режимы следует умножать на коэффициент 0,5...0,8, а для обработки чугуна – на 1,3...1,8.

Таблица 13.4

Режимы круглого наружного шлифования стальных заготовок

Вид шлифования	Поперечная подача	Окружная скорость детали, м/мин	Продольная подача в долях ширины круга Н
Шлифование с продольной подачей			
Предварительное	на один ход стола 0,01...0,025 мм	10...25	0,3...0,7
	на двойной ход 0,015...0,05 мм	20...30	
Чистовое	0,005...0,019 мм	15...75	0,2...0,4
Шлифование с поперечной подачей			
Предварительное	0,025 – 0,075 мм/об	30...50	–
Чистовое	0,001 – 0,005 мм/об	20...40	–

Таблица 13.5

Рекомендуемые припуски (на диаметр, мм) при круглом наружном шлифовании стальных заготовок

Диаметр вала d , мм	Материал: закал. – З незакал. – Н	Длина шлифуемого вала, мм				
		до $3d$	до 100	100...400	400...800	800...1200
до 18	Н	0,20 – 0,23	0,20 – 0,3	0,20 – 0,30	–	–
	З	0,25 – 0,30	0,25 – 0,35	0,30 – 0,40	0,25 – 0,40	–
до 30	Н	0,20 – 0,23	0,25 – 0,35	0,20 – 0,35	0,35 – 0,50	–
	З	0,25 – 0,30	0,25 – 0,40	0,30 – 0,45	0,30 – 0,45	0,40 – 0,55
до 50	Н	–	0,25 – 0,40	0,25 – 0,40	0,45 – 0,60	0,55 – 0,65
	З	–	0,35 – 0,50	0,40 – 0,55	0,30 – 0,45	0,40 – 0,55
до 120	Н	–	0,30 – 0,45	0,30 – 0,45	0,50 – 0,65	0,60 – 0,75
	З	–	0,40 – 0,55	0,45 – 0,60	0,60 – 0,75	0,65 – 0,80

При наличии значительных короблений, полученных после термической обработки, приведенные припуски следует увеличивать (см. параграф 7.1).

Окружную скорость вращения заготовки v_3 при выполнении врезного шлифования рекомендуется выбирать с учетом диаметра заготовки:

Диаметр заготовки d (мм)	До 40	40...60	60...80	80...100	100...160	160...200
Скорость заготовки м/мин	12...16	14...20	20...22	22...24	24...26	26...28

Диаметр шлифовального круга при обработке отверстий следует выбирать наибольшим из допустимых по условию его размещения в отверстии:

Диаметр отверстия D , мм	Диаметр шлифовального круга d , мм
30...45	$d = (0,85...0,95) D$
50...150	$d = (0,75...0,85) D$

Параметры точности, достигаемые при шлифовании наружных и внутренних цилиндрических поверхностей, приведены в табл. 7.2 (см. ч. 1 данного учебника).

13.2. Методы обработки плоских и профильных поверхностей

Фрезерование является одним из высокопроизводительных и распространенных методов предварительной и чистовой обработки плоских, фасонных, зубчатых и винтовых поверхностей. Главное движение резания создается при этом путем вращения многолезвийной фрезы, установленной в шпинделе станка, а необходимое движение подачи создается путем относительного перемещения заготовки, закрепленной в приспособлении или непосредственно на столе станка.

Высокая производительность, получаемая вследствие непрерывности процесса резания, позволяет эффективно использовать этот метод для обработки деталей в условиях единичного, серийного и массового производств. В зависимости от характера производства и габаритных размеров деталей обработку выполняют на универсально-фрезерных станках с вертикальным и горизонтальным расположением шпинделей, на многошпиндельных продольно-фрезерных станках, на карусельно- и барабанно-фрезерных станках агрегатного типа, а также на станках с ЧПУ и многоцелевых станках.

В результате фрезерования можно получить 8...11-й качества точности размеров и шероховатость поверхности $R_a = 3,2...12,5$ мкм.

Обработка фрезерованием с использованием соответствующих фрез позволяет получить на деталях различные по геометрии плоские и сложнопрофильные поверхности (рис. 13.3). Фрезерование плоских поверхностей на проход выполняют с помощью цилиндрических и торцевых фрез (рис. 13.3, *а, б, в, г*). Фрезерование уступов, наклонных поверхностей осуществляют с помощью концевых, угловых и торцевых фрез при повороте шпинделя на требуемый угол (рис. 13.3, *д, е, ж, з*).

Одновременное фрезерование нескольких взаимосвязанных по-

верхностей различных пазов или поверхностей направляющих выполняют дисковыми, пальцевыми, специальными Т-образными и угловыми

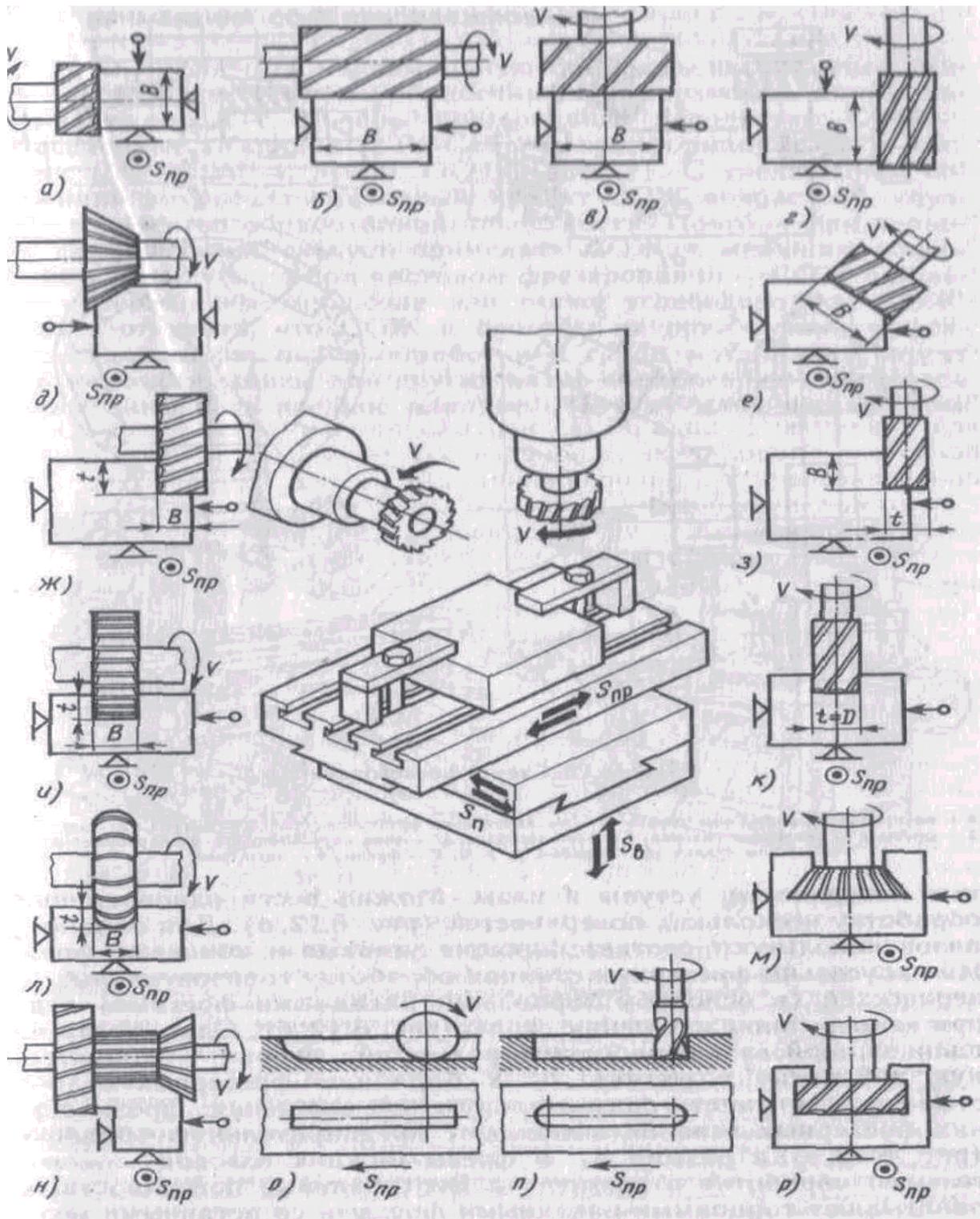


Рис. 13.3. Обработка поверхностей заготовок фрезерованием

ми фрезами, а также набором фрез, установленных на оправку (рис. 13.3, и, к, л, м, н, р). Фрезерование сложнопрофильных поверхностей

выполняют с помощью фасонных дисковых фрез (рис. 13.3, *л*) или путем объемного фрезерования по программе пальцевой фрезой на станках с ЧПУ (см. рис. 10.18, *б*).

Фрезерование шпоночных пазов осуществляют с использованием концевых пазовых или дисковых фрез (рис. 13.3, *о, п*), а отрезку заготовки выполняют дисковыми отрезными фрезами.

Различные по конструкции фрезы могут быть цельные, сборные со вставными ножами из быстрорежущей стали или с ножами, имеющими твердосплавные напайные пластины, а также фрезы с механическим креплением неперетачиваемых твердосплавных пластин, обладающих высокой износостойкостью.

В качестве материалов для изготовления режущей части фрез применяют инструментальные и быстрорежущие стали, для которых скорость резания составляет 15...35 м/мин, а также твердосплавные пластины, допускающие высокие скорости резания 125...300 м/мин, а в отдельных случаях и до 1000 м/мин.

Торцевые фрезы используют для черновой и чистовой обработки плоских поверхностей. Торцевые фрезы с твердосплавными пластинами имеют стойкость в 3 раза выше, чем стойкость фрез из быстрорежущей стали, и обеспечивают повышение производительности обработки до 5 раз. Торцевые фрезы с режущей частью из сверхтвердых материалов используют для чистовой обработки, когда требуется достижение повышенных требований по точности геометрической формы и шероховатости обрабатываемой поверхности детали.

Параметры точности детали, достигаемые при торцевом фрезеровании, приведены в табл. 7.3. и 13.4.

Схемы установки и закрепления фрез на станках показаны на рис. 13.4. На универсальном горизонтально-фрезерном станке дисковую фрезу 1 устанавливают с помощью сменной оправки 2, которая своим коническим хвостовиком входит в шпиндель 3 и закрепляется затяжным болтом 4 (рис. 13.4, *а*). Другой конец оправки базируется в серьге 8 на втулочном подшипнике 7 и фиксируется гайкой 9. Требуемого осевого положения фрезы на оправке достигают путем подбора сменных втулок 10. Крутящий момент на фрезу передают с помощью шпонки 6. Два сухаря 5, расположенные в пазах шпинделя и оправки, исключают проворот оправки относительно шпинделя. Аналогично на

оправке может быть установлен набор из нескольких цилиндрических и дисковых фрез.

Схема установки торцевой фрезы с использованием короткой конической оправки 11 показана на рис. 13.4, б. Фреза базируется на оправке по торцу, отверстию и шпонке 12.

Закрепление фрезы осуществляется винтом 13. По аналогичной схеме на оправке устанавливают дисковые фрезы. Для установки

фрез с коническим хвостовиком применяют цанговые патроны и переходные конические втулки 14 (рис. 13.4, в).

При использовании цилиндрических фрез с винтовым зубом установка фрезы на оправке осуществляется так, чтобы направление винтовых зубьев обеспечивало направление осевой силы резания в сторону шпинделя. В свою очередь, при использовании набора фрез рекомендуется применение фрез с разнонаправленными винтовыми зубьями.

Режимы резания при фрезеровании стальных заготовок с использованием торцевых фрез с твердосплавной режущей частью марки Т15К6 составляют: для предварительного фрезерования скорость $v = 115 \dots 250$ м/мин, подача на зуб $s_z = 0,4 \dots 1,5$ мм/зуб; для чистового фрезерования $v = 230 \dots 450$ м/мин, $s_z = 0,2 \dots 0,3$ мм/зуб. В случае обработки чугунных заготовок скорость резания уменьшают на 15...30 %.

Стойкость торцевых фрез с твердосплавными пластинами обычно составляет 120...420 мин, а фрез из быстрорежущей стали – 120...240 мин.

На универсально-фрезерных станках обрабатывают детали сравнительно малых габаритных размеров в единичном и мелкосерийном производстве. С целью повышения производительности путем совмещения времени выполнения основных и вспомогательных

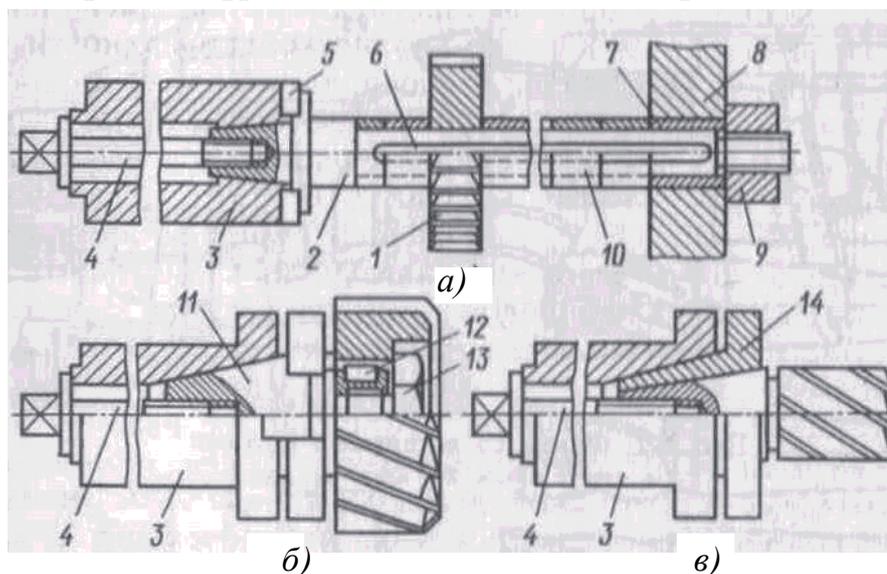


Рис. 13.4. Схемы закрепления фрез: а – дисковой; б – торцевой; в – концевой

переходов обработку выполняют по схеме «маятникового» фрезерования (см. рис. 9.17.).

Многошпиндельные продольно-фрезерные станки используют для обработки крупногабаритных корпусных деталей или для групповой обработки деталей средних размеров в серийном производстве. Возможность совмещения переходов при одновременной обработке нескольких поверхностей крупногабаритных деталей или параллельной обработке поверхностей у нескольких небольших деталей позволяет получить достаточно высокую производительность операции. При групповой обработке последовательно установленных деталей уменьшение машинного времени достигается также за счет перекрытия расстояний на врезание и выход фрезы.

При обработке на четырехшпиндельных продольно-фрезерных станках корпусных деталей с направляющими (кареток, столов, ползунов) можно применять набор фрез, профиль которых соответствует контуру направляющих. Набор фрез, включающий обычно как универсальные, так и специальные фрезы, базируют на общей оправке, которую устанавливают в шпиндели двух горизонтальных головок. Преимуществом этого способа является возможность получения за один рабочий ход практически полного профиля направляющих. Однако имеются сложности, связанные с заточкой комплекта фрез и требуемой точной установкой их в наборе. Поэтому этот метод применяют главным образом в серийном производстве для обработки направляющих простой формы.

Карусельно-фрезерные и барабанно-фрезерные станки применяют для обработки корпусных деталей небольших размеров в крупносерийном и массовом производствах. Карусельно-фрезерные станки с круглым вращающимся столом имеют одну или несколько фрезерных головок с вертикальным расположением шпинделей. При наличии трех фрезерных головок на первых двух устанавливают фрезы диаметром 250 – 300 мм для предварительной обработки, а на последней – фрезу диаметром 500 – 600 мм для чистовой обработки горизонтальных поверхностей деталей. Заготовки устанавливают в приспособлении, расположенном по кругу стола. Установку заготовки и съём детали выполняют вне зоны обработки и по времени совмещают с процессом резания, который осуществляется при непрерывном вращении стола. Выполнение непрерывной параллельно-последовательной черновой и чи-

стовой обработки группы деталей позволяет добиться высокой производительности.

Короткие кинематические и размерные цепи карусельно-фрезерного станка, повышенная жесткость стола и неподвижное закрепление фрезерных головок позволяют получить высокую точность размеров и относительных поворотов обрабатываемых поверхностей заготовки.

На барабанно-фрезерном станке одновременно обрабатывают в размер две параллельные поверхности. Барабан, непрерывно вращающийся относительно горизонтальной оси, имеет от четырех до восьми граней, на которых установлены приспособления для укрепления заготовок. Общее число фрезерных головок с горизонтальным расположением шпинделей может составить 2, 4, 6 или 8. При этом с помощью первых фрез выполняют предварительную обработку, а последние две фрезы большого диаметра служат для чистовой обработки поверхности детали. Диаметры чистовых фрез определяют возможные размеры обрабатываемых поверхностей детали.

Параметры точности обработки, достигаемые при фрезеровании плоскостей и пазов, приведены в табл. 13.6.

Таблица 13.6

Параметры точности обработки при фрезеровании

Фрезерование	Квалитет точности размера	Параметр шероховатости Ra, мкм	Погрешность формы и положения на длине 100 мм, мм		
			Отклонение от плоскостности	Отклонение от параллельности	Отклонение от перпендикулярности
Плоскости					
Предварительное	11...13	12...25	0,03...0,06	0,02...0,05	0,02...0,06
Чистовое	9...11	1,2...6	0,01...0,02	0,006...0,02	0,01...0,025
Тонкое	6...9	0,6...1	0,003...0,01	0,002...0,005	0,003...0,01
Пазы или выступы					
Предварительное	11, 12	12...25	0,02...0,06	0,015...0,05	0,015...0,06
Чистовое	9, 10	2...6,3	0,01...0,02	0,005...0,02	0,005...0,02

Обработка поверхностей деталей строганием и долблением

Строгание выполняют для обработки открытых плоских и фасон-

ных поверхностей на поперечно и продольно строгальных станках с использованием строгальных резцов. Для обработки фасонных линейчатых поверхностей на станках применяют копировальные устройства.

Формообразование при строгании обеспечивается двумя поступательными прямолинейными движениями резания v и подачи s , которые совершают соответственно резец, установленный на суппорте, и заготовка, устанавливаемая на столе станка. На поперечно-строгальных станках главное движение резания совершает резец, а заготовка выполняет движение поперечной подачи. На продольно-строгальных станках главное возвратно-поступательное движение резания совершает заготовка, а резец выполняет движение подачи.

Процесс резания при строгании прерывистый, съём припуска происходит при прямом ходе и сопровождается ударными нагрузками. В соответствии с этим к строгальным резцам предъявляют особые требования, они имеют большую массу, повышенную жесткость, более вязкий материал режущей части и работают при сравнительно низких скоростях резания $v < 80$ м/мин. В свою очередь, подача также назначается на 10...20 % ниже, чем это рекомендуется при тех же условиях для точения.

При выполнении строгальных работ применяют резцы различной формы. При этом необходимо учитывать, что резцы с прямым стержнем под влиянием силы резания могут углубляться в заготовку и вызывать подрыв. Применение резцов с изогнутым стержнем позволяет уменьшить или вообще избежать этого явления.

Долбление, выполняемое с помощью долбежных резцов, является разновидностью строгания. Его применяют в основном для получения на деталях различных окон и пазов в предварительно полученных отверстиях. Использование продольной, поперечной и круговой подачи стола станка позволяет путем долбления получать на детали сложные контуры, образуемые отрезками прямых линий и дуг.

Строгание поверхностей применяют в основном в единичном и мелкосерийном производствах, а также при обработке крупногабаритных, тяжелых деталей на продольно-строгальных станках, имеющих от двух до четырех суппортов для строгания в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Производительность строгания ниже, чем при фрезеровании. Это объясняется наличием холостых возвратных ходов и относительно малыми скоростями резания. Однако производительность строгальной операции можно повысить путем одновременной обработки группы заготовок, последовательно установленных в один или два ряда на столе станка. При этом целесообразно параллельно обрабатывать горизонтальные и вертикальные поверхности заготовки, используя одновременно вертикальные и боковые суппорты. Требованием к технологичности деталей в этом случае является расположение обрабатываемых поверхностей в одной плоскости (на одном уровне), что позволяет выполнять обработку на проход.

Преимуществом строгания и долбления является их универсальность, низкая стоимость и простота режущего инструмента. Резцы, используемые при строгании, представляют собой наиболее дешевый и простой инструмент, который обладает малой чувствительностью к дефектам поверхностного слоя и позволяет снимать за один рабочий ход до 15...20 мм.

Режимы обработки при строгании и долблении: для предварительной обработки скорость резания $v = 20...40$ м/мин, подача на двойной ход $s = 0,3...4,5$ мм/дв.х; для чистового строгания $v = 40...80$ м/мин и $s = 0,6...2$ мм/дв.х. При чистовом строгании широкими резцами с шириной режущей кромки 60 мм и более подача составляет $s = 5...20$ мм/дв.х. при глубине резания $t \leq 0,1$ мм.

Строгание позволяет получить высокую точность по прямолинейности обрабатываемых поверхностей. Это объясняется более высокой жесткостью строгальных суппортов по сравнению с жесткостью фрезерных головок и относительно малым температурным деформированием в процессе резания.

Тонкое строгание широкими резцами при $t = 0,1$ мм и подачей до $s = 20$ мм/дв.ход позволяет получить высокую точность и качество поверхности близкое к шлифованию. Кроме того, при получении пазов и канавок производительность строгания выше, чем фрезерования. Поэтому строгание достаточно широко применяют при обработке деталей с направляющими – различных столов, кареток, ползунов. Параметры точности, достигаемые при строгании и долблении, приведены в табл. 13.7.

Параметры точности обработки при строгании и долблении

Строгание и долбление	Квалитет точности размера	Параметр шероховатости Ra, мкм	Погрешность формы и расположения, в мм на длине 100 мм		
			Отклонения от плоскостности	Отклонения от параллельности	Отклонения от перпендикулярности
Предварительное	11...13	12,5...25	0,02...0,06	0,015...0,05	0,02...0,06
Чистовое	9...10	2,5...6,3	0,006...0,02	0,005...0,014	0,006...0,02
Отделочное	6...8	0,6...1,3	0,002...0,005	0,003...0,005	0,003...0,006

Обработка плоских поверхностей деталей точением

Формирование плоской поверхности путем торцевого точения происходит при вращении обрабатываемой заготовки с окружной скоростью v и поступательном перемещении резца в радиальном направлении с подачей s . В этом процессе при постоянном числе оборотов заготовки имеет место переменная скорость резания, которая уменьшается, когда резец перемещается к центру вращения, или увеличивается при перемещении резца от центра к периферии. В результате имеет место снижение производительности. Обработку плоских поверхностей крупногабаритных деталей точением обычно выполняют на токарно-карусельных станках. Плоские поверхности небольших деталей обрабатывают точением и на обычных токарных станках с использованием четырехкулачковых патронов для закрепления некруглых заготовок.

На токарно-карусельных станках точением обрабатывают такие корпусные детали, как корпуса паровых турбин, компрессоров, центробежных насосов, корпуса крупных электродвигателей, генераторов, планшайбы станков и крупногабаритные вентили. Эти детали имеют сложную пространственную форму или форму тел вращения с наружными или внутренними цилиндрическими, коническими поверхностями и перпендикулярными плоскими торцевыми поверхностями. Наиболее эффективным в этом случае является точение поверхностей круглого и квадратного контура.

В условиях серийного производства на токарно-карусельных станках можно одновременно обрабатывать по открытой плоскости разъема несколько небольших корпусов или крышек, устанавливаемых по периметру круглого стола. При этом обеспечиваются достаточно высокие требования по плоскостности и параллельности обрабатываемых поверхностей.

Обработку плоских поверхностей корпусных деталей точением

выполняют также на горизонтально-расточных станках и на подобных расточных станках ЧПУ с использованием специального приспособления – плана суппорта, – которое обеспечивает вращение резца и перемещение его в радиальном направлении при неподвижной заготовке.

Высокую производительность, получаемую при точении плоских поверхностей, определяет ряд факторов: непрерывность процесса резания; относительно высокие режимы резания; использование простого и недорогого режущего инструмента – резцов, позволяющих снимать за один рабочий ход припуск до 15 мм. Параметры точности обработки, получаемые при точении плоских поверхностей, приведены в табл. 13.8.

Таблица 13.8

Параметры точности обработки, достигаемые при торцевом точении плоских поверхностей

Торцевое точение	Квалитет точности размера	Параметр шероховатости Ra , мкм	Погрешность формы	
			Степень точности формы	Отклонения от параллельности мм/300 мм
Предварительное	13...15	6,3...12,5	9...12	0,1
Чистовое	8...12	3,2... 5	7... 8	0,05
Тонкое	7... 8	0,8...1,6	5...6	0,03

Обработка плоских наружных поверхностей деталей протягиванием

Протягивание наружных плоских и фасонных поверхностей заменяет такие методы обработки, как фрезерование, строгание и шлифование.

Протягивание наружных плоскостей корпусных и других деталей выполняют в крупносерийном и массовом производствах на специализированных протяжных станках горизонтального и вертикального типа. Протягивание является наиболее производительным методом обработки, при котором обеспечивается получение высокой точности размеров и относительного положения обрабатываемых поверхностей. Мощные протяжные станки с усилием протягивания до 0,5 МН позволяют по всей обрабатываемой поверхности снимать за один рабочий ход припуск в 3...5 мм. Рациональное распределение снимаемого припуска по длине многозубой протяжки, при котором на калибрующие зубья приходится минимальная нагрузка, позволяет получить высокую стойкость и сохранять геометрическую точность режущего инструмента, что обеспечивает гарантированное достижение высокой точности детали.

Сборные протяжки, длина которых составляет 1,5...2 м, позволяют обрабатывать как плоские, так и фасонные наружные поверхности корпусных деталей. При этом скорость протягивания достигает 60 м/мин. Быстроходные протяжные станки с одной или несколькими позициями встраивают в автоматические линии по обработке блоков цилиндров двигателей, у которых предварительно и окончательно протягивают плоскость разъема под головку блока, привалочную плоскость и поверхности замка под крышки коренных подшипников, а также боковые поверхности блока.

Факторами, ограничивающими применение протягивания, являются относительно высокая стоимость режущего инструмента и возникающие при обработке большие силы резания, что исключает возможность обработки нежестких деталей.

Протягивание применяют для предварительной чистовой и отделочной обработки наружных поверхностей различных деталей. Однако его применение особенно эффективно для получения высокой точности размеров и относительного положения фасонных поверхностей, а также комплекса одновременно обрабатываемых поверхностей детали.

Режимы обработки при протягивании наружных поверхностей: скорость резания $v = 7 \dots 15$ м/мин, подача на зуб $s = 0,1 \dots 0,5$ мм/зуб, снимаемый припуск $t = 1 \dots 3$ мм. Несмотря на сравнительно низкую скорость резания производительность протягивания достаточно высокая, так как происходит обработка всей поверхности при большой длине одновременно работающих режущих кромок.

Параметры точности, получаемые при протягивании наружных плоских и фасонных поверхностей, приведены в табл. 13.9.

Таблица 13.9

Параметры точности, достигаемые при протягивании плоских и фасонных поверхностей

Протягивание плоских поверхностей	Квалитет точности размера	Параметр шероховатости Ra , мкм	Погрешность формы	
			Степень точности формы	Отклонения от параллельности мм/300 мм
Получистовое	8...9	6,3	9...10	0,07
Чистовое	7...8	0,8...3,2	7...8	0,04
Отделочное	6...7	0,2...0,4	5...6	0,02

Обработка плоских поверхностей деталей шлифованием

Шлифование наружных плоскостей различных деталей применяется в основном как окончательная финишная обработка, обеспечивающая получение повышенных требований по точности размеров, точности геометрической формы и шероховатости обрабатываемых поверхностей. Поэтому эту операцию выполняют после предварительного фрезерования, строгания или точения, а также после термообработки – закалки, в результате которой достигают высокую твердость поверхности.

Шлифование плоских поверхностей выполняют на плоскошлифовальных станках с прямоугольным или круглым столом с использованием в качестве режущего инструмента абразивных шлифовальных кругов, которые способны снимать с заготовки значительно меньший слой металла, чем лезвийный инструмент. Малые сечения среза и высокие скорости резания являются главными факторами, определяющими достижение высоких параметров геометрической точности и шероховатости поверхности при шлифовании.

В свою очередь, высокая твердость абразивных зерен позволяет шлифовать закаленные поверхности и обрабатывать заготовки из высокопрочных материалов, что практически невозможно лезвийным инструментом.

В зависимости от требований к точности плоское шлифование может быть предварительным, чистовым или тонким. При многопроходном шлифовании вертикальная подача s круга осуществляется перед каждым продольным ходом или перед двойным ходом стола.

Шлифование плоских поверхностей осуществляется периферией плоского круга, торцом чашечного круга или торцовой поверхностью составного сегментного круга. Для уменьшения теплового напряжения в зоне шлифования торцом круга ось последнего наклоняют в плоскости, параллельной продольной подаче. При предварительном шлифовании превышение задней кромки круга над передней допускается до 2 мм, а при чистовом – не более 0,05 мм. Обильное охлаждение с помощью смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), применяемое при шлифовании, позволяет уменьшить температурные деформации заготовки и улучшить условия процесса резания, что способствует повышению точности обработки и исключению прижогов.

На станках с прямоугольным столом на обрабатываемой поверх-

ности возможно получить также относительно неширокие занижения или пазы, которые обрабатывают периферией или торцом круга путем врезного многопроходного или глубинного шлифования.

На плоскошлифовальных станках с круглым столом обработка осуществляется с непрерывной круговой подачей, поэтому производительность обработки на них в 1,3...2 раза выше, чем на станках с квадратным столом.

Режимы обработки при шлифовании плоских поверхностей на станках с прямоугольным столом периферией плоского круга: скорость резания $v = 25 \dots 50$ м/с, продольная подача стола $s_{пр} = 4 \dots 16$ м/мин, поперечная подача стола $s_{п}$ в долях высоты H круга $s_{п} = (0,1 \dots 0,4)H$ мм, подача круга в глубину на проход $s_t = 0,005 \dots 0,03$ мм/ход, припуск оставляемый под шлифование $t = 0,2 \dots 0,6$ мм.

В процессе шлифования зерна абразивного инструмента изнашиваются и теряют режущую способность. Параллельно происходит заполнение пространства между зернами отходами шлифования – металлической пылью, продуктом разрушения зерен и связки. В результате изношенный, «засаленный» круг перестает резать, на обрабатываемой поверхности возникают прижоги. Для восстановления режущей способности круга выполняют правку – «заточку» круга специальными более твердыми алмазно-металлическими карандашами или роликами. В процессе правки, которая выполняется за 3...5 проходов, с затупившейся рабочей поверхности круга снимают слой толщиной 0,08...0,13 мм. При этом восстанавливается не только режущая способность, но и геометрическая точность круга. Параметры точности, получаемые при шлифовании плоских поверхностей, приведены в табл. 13.10.

Таблица 13.10

Параметры точности, достигаемые при плоском шлифовании

Шлифование плоских поверхностей	Квалитет точности размера	Параметр шероховатости Ra , мкм	Погрешность формы	
			Степень точности формы	Отклонения от параллельности мм/300 мм
Получистовое	9...10	3,2	7...8	0,06
Чистовое	6...8	0,8...1,6	5...6	0,02
Тонкое	6...7	0,05...0,4	3...4	0,003

Обдирочное плоское шлифование применяют для снятия дефектного слоя с поверхностей отливок, поковок, полученных непосредственно после заготовительной операции. На этой операции применяют плоские круги прямого профиля типа ПП, ПР и чашечные круги типа ЧК с зернистостью 125...50 и твердостью СТ1 – Т1. Скорость резания составляет 35...50 м/с, а для кругов упрочненных стеклосеткой – до 80 м/с.

Для обдирочного шлифования наружных плоскостей применяют также сборные сегментные круги. Припуск, снимаемый за один рабочий ход, может составлять при этом до 4...5 мм. Преимуществом этого метода обработки является малая чувствительность шлифовального круга к твердым включениям и другим дефектам поверхностного слоя заготовки, а также отсутствие сколов при шлифовании прерывистых поверхностей.

Все это определяет широкие технологические возможности обдирочного шлифования для высокопроизводительной обработки сложноконтурных, прерывистых поверхностей чугунных и стальных заготовок. Между тем как при лезвийной обработке чугунных деталей строганием или фрезерованием возникают сколы (выкрашивание металла на кромках), что приводит к браку и резкому снижению стойкости режущего инструмента, в особенности торцовых фрез.

Важным моментом разработки операции шлифования является правильный выбор шлифовального круга. Характеристики круга в виде условного обозначения указывают в технологической документации согласно ГОСТ 2424-83 следующим форматом:

I 500×50×305 24А 10-П С2 7 К 35 м/с А1 кл. ГОСТ 2424-83,
где I – круг прямого профиля типа I; 500×50×305 – соответственно диаметр, высота круга и диаметр внутреннего отверстия; 24А – материал зерна – белый корунд; 10-П – зернистость круга; С2 – степень твердости; К – керамическая связка; 35 м/с – скорость работы; А – класс точности; 1 – первый класс неуравновешенности.

Механическая прочность кругов на вулканитовой, бакелитовой и керамической связках должна обеспечить их надежную работу на скоростях до 50...60 м/с, а при наличии упрочняющих элементов и до 80...100 м/с. Характеристики шлифовальных кругов, применяемых для получения требуемой шероховатости поверхности при обработке чугунов и сталей, приведены в табл. 13.11.

Характеристики шлифовальных кругов

Обрабатываемый материал	Характеристики круга			Шероховатость поверхности Ra , мкм
	Абразивный материал	Зернистость	Степень твердости	
Сталь незакаленная	Электрокорунд	25	C2	0,8
Сталь закаленная	Электрокорунд, элек. белый	25...16 16...12	C1 – C2 CT1	0,4 0,1...0,2
Серый чугун	Карбид кремния	36...24	CM2 – CM2	3,2...0,8

Крупнозернистые круги (зернистость 125 – 40) применяют при обдирочном предварительном шлифовании. Мелкозернистые круги, в том числе алмазные и эльборовые, применяют на операциях чистового шлифования [10].

Плоское шлифование выполняют как периферией, так и торцом шлифовального круга. При шлифовании периферией круга условия работы круга благоприятнее, площадь контакта круга с заготовкой значительно меньше, что снижает потребляемую мощность. Для устранения прижогов применяют круги с поднутрением на торцах.

13.3. Методы нарезания винтовых поверхностей

Резьбовая поверхность образуется при винтовом движении плоского контура по цилиндрической или конической поверхности. Различные по профилю наружные и внутренние резьбы могут быть получены путем нарезания профиля резьбы режущим инструментом или путем накатывания профиля резьбы накатным инструментом.

Нарезание резьбы может быть выполнено резьбовыми резцами, гребенками, метчиками, резьбовыми плашками, резьбонарезными головками, резьбовыми фрезами, дисковыми шлифовальными кругами.

Резьбовые резцы применяют для нарезания точных наружных и внутренних резьб различного профиля – треугольного, трапециидального, прямоугольного, круглого. Нарезание выполняют на универсальных токарно-винторезных станках, на специальных резьботокарных станках с автоматическим циклом и на станках с ЧПУ токарного типа. Это наиболее простой и универсальный способ, позволяющий одним и тем же инструментом нарезать резьбы различного диаметра и шага на цилиндрических и конических поверхностях.

Основные виды применяемых резьбовых резцов представлены на рис. 13.5. Однопрофильные (однорезцовые) резцы могут быть составными с напаянной твердосплавной пластинкой (рис. 13.5, а), сборными с призматической вставкой из быстрорежущей стали или с неперетачиваемой твердосплавной пластинкой (рис. 13.5, б, в). Многопрофильные резцы (гребенки) могут быть призматическими (рис. 13.5, г) или круглыми с кольцевой или винтовой нарезкой (рис. 13.5, д, е).

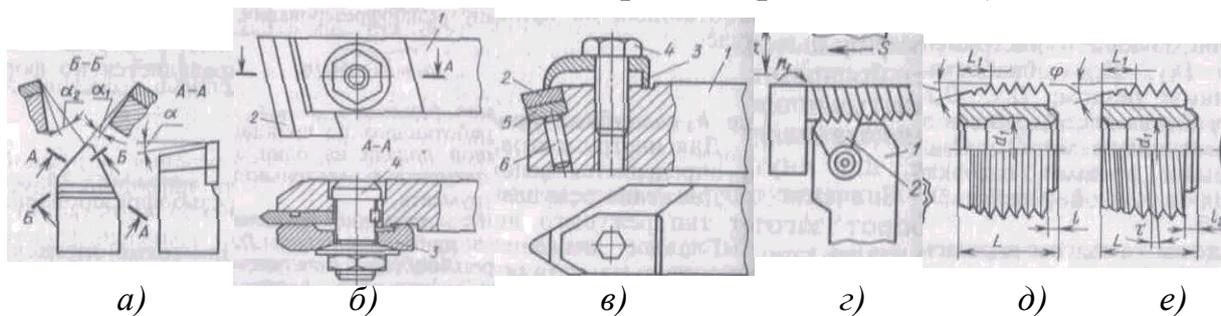


Рис. 13.5. Резьбовые резцы: а – с напаянной твердосплавной пластинкой; б – с призматической вставкой; в – с неперетачиваемой твердосплавной пластинкой; г – многопрофильный; д – круглый с кольцевой нарезкой; е – круглый с винтовой нарезкой

При угле подъема винтовой линии $\beta \geq 3 \dots 4^\circ$ резец наклоняют к оси заготовки на угол $\lambda = \beta$. Профиль резьбового резца по передней поверхности при расположении ее в плоскости, проходящей через ось ходового винта совпадает с профилем резьбы в осевом сечении. В этом случае передний угол $\gamma = 0^\circ$ и $\lambda = 0^\circ$.

В процессе обработки заготовка вращается со скоростью резания v , а профильный резец перемещается с продольной подачей s (мм/об), равной шагу резьбы $s = P$ на оборот заготовки. В результате происходит вырезание по винтовой линии слоев металла в соответствии с профилем впадины.

Нарезание резьбы мелкого модуля выполняют за один проход. Глубина резания t в этом случае равна высоте профиля резьбы $t = h_3$. При нарезании резьбы многопрофильными резцами – гребенками – глубина резания для каждого элементарного резца, образующего режущую часть, уменьшается в несколько раз:

$$t = h_3 P / l_1,$$

где P – шаг резьбы; l_1 – длина режущей части гребенки.

Для нарезания многозаходной резьбы требуется выполнить точное угловое деление заготовки при переходе с одной нитки на другую. Это

деление выполняют с помощью специального градуированного патрона или путем смещения резца на шаг с помощью верхнего суппорта.

Многопроходное нарезание применяют для получения резьб среднего и большого модуля. При этом используют три схемы врезания (рис. 13.6): радиальное врезание (рис. 13.6, *a*), боковое врезание (рис. 13.6, *б*) и комбинированное (рис. 13.6, *в*), при котором достигают лучшего качества поверхности по сравнению со второй схемой.

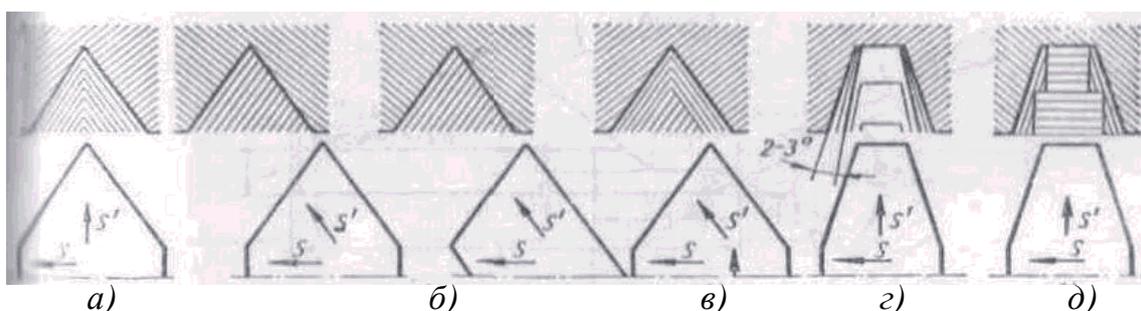


Рис.13.6. Схемы многопроходного нарезания винтовых поверхностей: *a* – радиальное врезание; *б* – боковое врезание; *в* – комбинированное врезание; *z* и *д* – предварительное нарезание трапецидальной резьбы

При нарезании винтовых поверхностей ходовых винтов, когда создают глубокий трапецидальный, прямоугольный или иной профиль, вначале выполняют последовательное многопроходное предварительное точение несколькими прорезными резцами различного профиля. В результате происходит удаление с винтовой канавки основного припуска. Окончательное, чистовое точение выполняют чистовым резцом, профиль которого соответствует заданному профилю резьбы. При этом возможны две схемы установки профильного резца. Согласно первой схеме, (рис. 13.7, *a*) плоскость профиля резца совмещается с плоскостью, проходящей через ось ходового винта. Для точного профилирования витка резец в этом случае должен иметь прямолинейные режущие кромки, что упрощает заточку инструмента и повышает точность. Однако углы резания по боковым режущим кромкам α_1 и α_2 не равны, поэтому обработку приходится производить при сравнительно низких режимах резания. Эту схему установки применяют для окончательного, чистового нарезания витка.

Согласно второй схеме (рис. 13.7, *б*) резец устанавливают так, что его режущая кромка располагается по перпендикуляру к винтовой линии или углом β (углом подъема витка) относительно оси ходового винта. В этом случае плоскость режущей кромки не проходит через ось

ходового винта, а углы по боковым режущим кромкам $\alpha_1 = \alpha_2$, что позволяет выполнять точение с более высокими режимами. Однако для точного профилирования витка режущие кромки резца должны иметь криволинейный профиль, создаваемый с помощью шаблона. На практике второй способ применяют для предварительного нарезания витка. При этом используют резец с прямолинейным профилем, а возникающую погрешность профиля витка выводят при чистовом точении, когда используют первую схему установки и резец с прямолинейными режущими кромками.

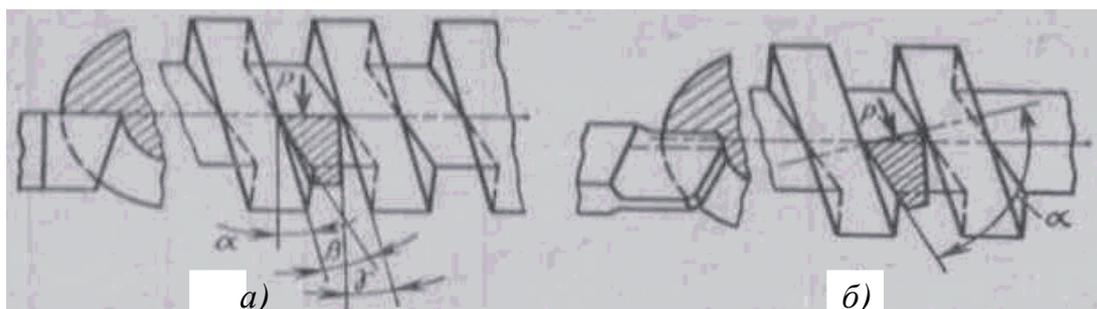


Рис. 13.7. Два способа установки профильного резца при нарезании трапециидальной резьбы

Метчики применяют для нарезания внутренних резьб диаметром до 50 мм на токарных, токарно-револьверных, сверлильных, расточных и специальных станках, а также на станках с ЧПУ. Нарезание резьбы метчиками можно выполнять также вручную, для чего применяют комплект из двух – трех метчиков. При этом окончательный профиль резьбы имеет только последний метчик.

Формообразование резьбы происходит при одновременном относительном вращении v и осевом перемещении метчика с оборотной подачей $s = P$. Перемещение в осевом направлении (подача на оборот) происходит за счет самозатягивания, которое создается при наличии сил трения и резьбовой поверхности на инструменте.

Для установки метчиков в шпинделе станка применяют специальные плавающие предохранительные патроны, которые обеспечивают самоустановку (самоцентрирование) метчика в отверстии заготовки и компенсацию разницы в шаге нарезаемой резьбы и осевого перемещения метчика. Плавающие предохранительные патроны компенсируют возможную несоосность шпинделя относительно отверстия и создают условия для самозатягивания метчика, исключая его поломку в случае несоответствия шага резьбы и осевого перемещения метчика.

Схема быстросменной предохранительной головки, устанавливаемое-

мой в патрон с коническим хвостовиком, показана на рис. 13.8. Метчик устанавливается во втулку 2 и зажимается шариками 3 при перемещении втулки в осевом направлении пружиной 4.

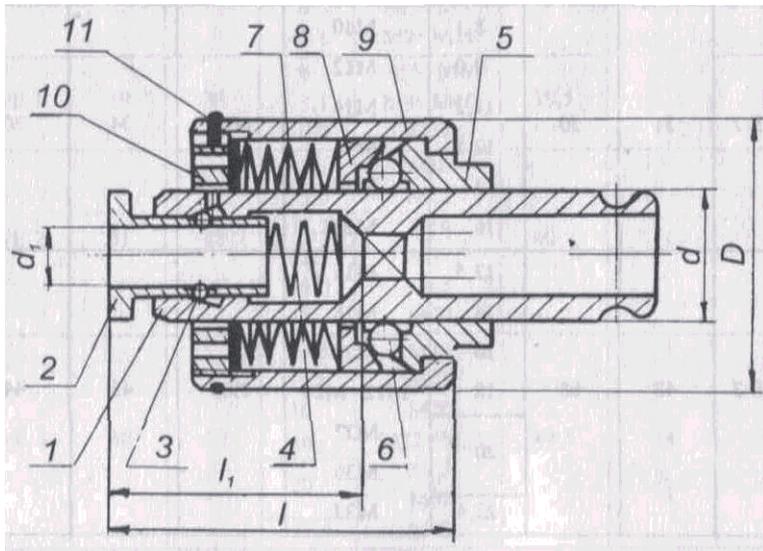


Рис. 13.8. Быстросменная предохранительная головка для закрепления метчиков

Крутящий момент к корпусу 1 передается поводком 5 через шарики 6, поджимаемые кольцом 8. Усилие поджима кольца создается тарельчатыми пружинами 7. Требуемый натяг тарельчатых пружин, соответствующий задаваемой величине крутящего момента,

создается путем поворота гайки 10 с последующей фиксацией ее замком 11, установленным в обойме 9. Величина задаваемого крутящего момента с учетом диаметра резьбы, ее шага и обрабатываемого материала определяется по таблицам [24].

С помощью метчиков можно нарезать также коническую резьбу в сквозных и глухих отверстиях. В последнем случае применяют метчики с укороченной заборной частью. В качестве материала для метчиков используют в основном быстрорежущую сталь. Твердосплавные метчики применяют для заготовок из стали и сплавов, имеющих прочность $\sigma_b = (180 \dots 210) \cdot 10^7$ Па и твердость $48 \dots 55 HRC_3$. По конструкции метчики могут быть цельными, составными и сборными, последние для резьб диаметром более 30 мм.

Плашки применяют для нарезания наружных резьб на цилиндрической или конической поверхностях. В процессе обработки заготовка вращается со скоростью v , а плашка поджимается к торцу обрабатываемой цилиндрической поверхности, самоустанавливается по ней и путем самозатягивания перемещается в осевом направлении с оборотной подачей, равной шагу нарезаемой резьбы $s = P$.

С помощью плашек наружные резьбы нарезают на токарных, револьверных и других станках, а также вручную. Нарезание обычно выполняют за один проход. Плашка закрепляется в плашкодержателе,

который, также как и метчик для осуществления самоустановки и самозатягивания, должен иметь определенную подвижность вдоль оси резьбы и в плоскости перпендикулярной к оси. С этой целью применяют аналогичные плавающие патроны [24].

Резьбовые фрезы применяют для нарезания наружных и внутренних резьб как на цилиндрической, так и на конической поверхностях. Резьбовые фрезы по конструкции бывают следующих типов: многопрофильные (многониточные) гребенчатые групповые, гребенчатые сборные охватывающие фрезы, а также однопрофильные (однорезцовые) дисковые и пальцевые фрезы.

Схемы нарезания резьбы с использованием гребенчатых групповых фрез показаны на рис. 13.9. Ось фрезы располагается параллельно оси вращающейся заготовки, фреза вращается в обратном направлении и врезается на глубину t , равную высоте профиля резьбы $t = h_s$. Затем за период $1,25 \dots 1,5$ оборота заготовки фреза перемещается в осевом направлении с подачей s , равной шагу нарезаемой резьбы $s = P$. В результате происходит одновременное нарезание по всей резьбовой поверхности.

Количество гребенчатых групповых фрез в наборе подбирают так, чтобы его длина на $2 \dots 3$ нитки превышала длину резьбы. Этот высокопроизводительный метод обработки применяют для нарезания коротких наружных и внутренних остроугольных резьб, которые могут непосредственно примыкать к ступени вала (рис. 13.9, а) или торцу глухого отверстия (рис. 13.9, б). Такие фрезы обладают высокой стойкостью, что позволяет их эффективно использовать при обработке вязких и твердых сталей. Обработку выполняют на резьбонарезных станках моделей 563А, 563В, 5К63, КТ85 и др. Режимы резания при фрезеровании резьбы с шагом $P = 0,8 \dots 3,5$ мм составляют: скорость $v = 30 \dots 75$ м/мин, подача для стальных заготовок $s_z = 0,02 - 0,1$ мм/зуб, для чугунных $s_z = 0,06 - 0,14$ мм/зуб.

Резьбонарезные головки представляют собой сборный, охватыва-

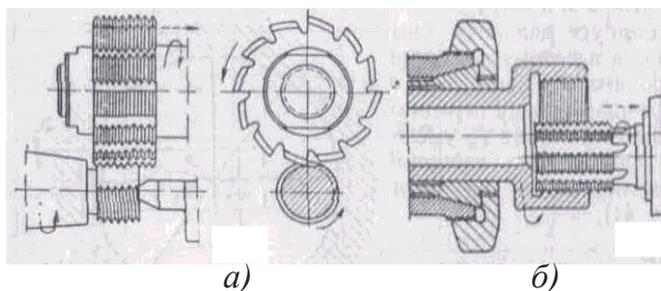


Рис. 13.9. Нарезания резьб с использованием гребенчатых групповых фрез: а – наружных; б – внутренних

ющий инструмент сложной конструкции, составленный из комплекта круглых гребенок или плоских плашек (рис. 13.10). Плашки располагают относительно нарезаемой заготовки с равным угловым шагом радиально (рис. 13.10, *а, в*) или тангенциально (рис. 13.10, *б*).

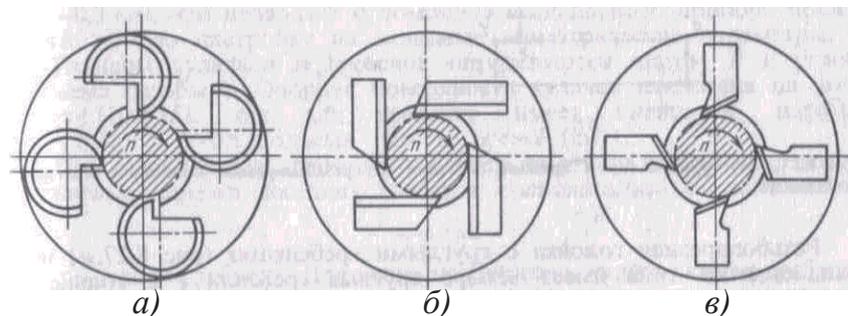


Рис. 13.10. Нарезания резьб с использованием резьбонарезных головок: *а* – с круглыми гребенками; *б* – с плоскими тангенциальными плашками; *в* – с плоскими радиальными плашками

Для нарезания резьб на токарных и револьверных станках применяют невращающиеся головки, а на токарных автоматах, сверлильных и болторезных станках применяют вращающиеся головки.

Наибольшее распространение получили самооткрывающиеся головки с круглыми гребенками (рис. 13.10, *а*). При вращении заготовки головка со сведенными гребенками подводится в осевом направлении и выполняет нарезание резьбы. При выходе на упор, соответствующий требуемой длине нарезаемой резьбы, гребенки выходят из резьбы, головка раскрывается и возвращается в исходное осевое положение. В результате отпадает необходимость обратного свинчивания, что значительно повышает производительность резьбонарезания. Наружный диаметр нарезаемой заготовки d_3 можно рассчитать по формуле

$$d_3 = d - kP,$$

где d – номинальный диаметр нарезаемой резьбы, мм, P – шаг резьбы, мм, k – коэффициент, равный для чугуна 0,10, для стали – 0,15 и 0,20 – для бронз и твердых латуней.

Скорости резания при нарезании резьб диаметром $d = 6 \dots 50$ мм с использованием резьбонарезных головок составляют: для стальных заготовок $v = 5,5 \dots 17$ м/мин, для чугунных $v = 12,0 \dots 30$ м/мин, а для заготовок из бронз и латуней $v = 14,0 \dots 34$ м/мин.

Дисковые и пальцевые резьбовые фрезы применяют на резьбофрезерных станках для нарезания крупно-профильных трапецеидальных, прямоугольных и других винтовых поверхностей на ходовых винтах. Ходовой винт базируется в центрах по горизонтали, вращается n_3 и перемещается с осевой подачей $s_{пр}$ (рис. 13.11). Дисковая резьбовая

фреза вращается v и устанавливается так, что ее ось вращения располагается относительно оси заготовки под углом подъема винтовой линии β . Для уменьшения прогиба ходового винта применяют подвижные люнеты, в которых винт имеет дополнительную опору по наружной цилиндрической поверхности, которую предварительно шлифуют с достижением точности по $h6, h7$.

Применяемые резьбофрезерные станки работают в полуавтоматическом цикле, скорость резания при использовании твердосплавных фрез $120 \dots 200$ м/мин. Все это обеспечивает высокую производительность нарезания винтовой поверхности.

Вихревое нарезание осуществляется специальными охватывающими резцовыми головками, у которых количество применяемого режущего инструмента равно или кратно двум. Нарезание выполняют на специальных или на модернизированных токарных станках. Ходовой винт, установленный в центрах по горизонтали, вращается n_3 (рис. 13.12), а охватывающая резцовая головка вращается v и перемещается вдоль ходового винта с осевой подачей $s_{пр}$. Вершины резцов устанавливают в головке по окружности D_p большей, чем наружный диаметр нарезаемой резьбы d_H . При этом центр резцовой головки смещен относительно центра заготовки на величину e :

$$e = (D_p - d_H) / 2 + t,$$

где t – глубина профиля резьбы.

Принимают: $D_p = d_H + (6 \div 8)$ мм при $d_H = 30 \dots 40$ мм и $D_p = d_H + (8 \div 10)$ мм при $d_H = 41 \dots 60$ мм.

Это наиболее производительный метод нарезания. Обработка выполняется на высоких скоростях резания несколькими резцами. Скорость резания при использовании твердосплавных резцов $v = 250 \dots 300$ м/мин, круговая подача $s_{кр} = 0,2 \dots 0,5$ мм/об резца. Достигают точность ходовых винтов по 3,4 классу.

Накатывание резьбы представляет собой наиболее производительный метод получения резьбовой поверхности, основанный на пластическом деформировании металла заготовки без снятия с нее стружки. Получение резьбовой поверхности путем накатывания имеет ряд преимуществ:

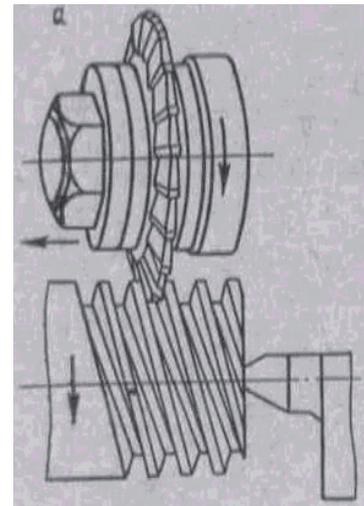


Рис. 13.11. Нарезание винтовой поверхности дисковой фрезой

- экономия металла на 10...30 % , получаемая в результате отсутствия отходов в стружку при диаметре исходной заготовки меньшем, чем диаметр получаемой резьбы;

- повышение усталостной прочности резьбы на 20...40 % , получаемой в результате образования наклепа на резьбовой поверхности;

- повышение точности резьбы и качества шероховатости поверхности до уровня резьбошлифования;

- повышение производительности резьбонарезания до восьми и более раз.

Накатывание резьбы может осуществляться следующими способами:

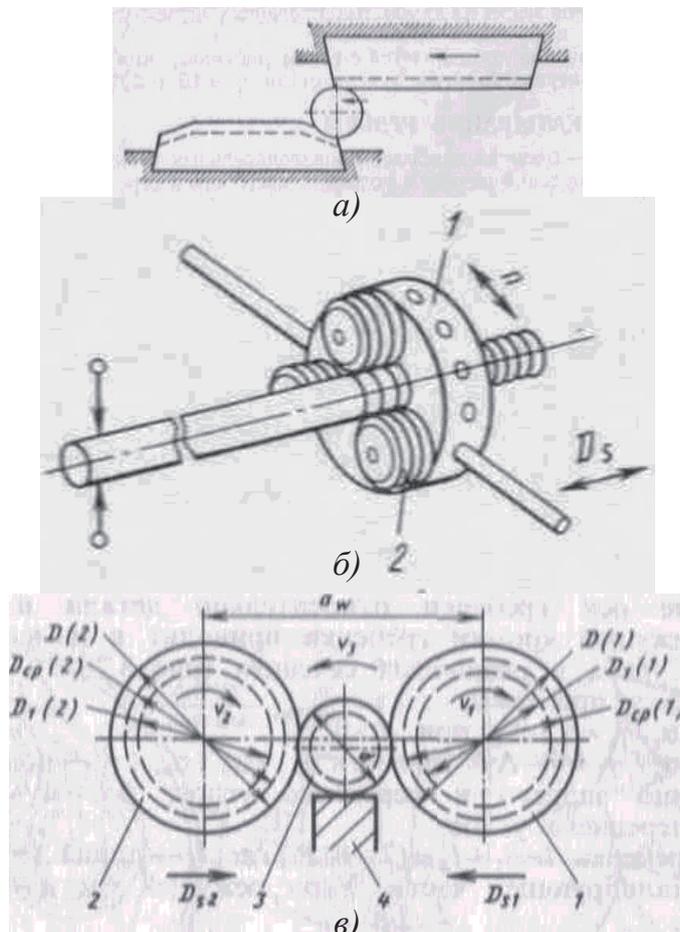


Рис. 13.13. Накатывание резьбы: *а* – резьбонакатными роликами; *б* – резьбонакатной головкой; *в* – резьбонакатными плашками

резьбонакатными роликами (рис. 13.13, *а*) при их радиальном движении; накатывание с использованием резьбонакатных головок аксиально-го типа с осевой подачей заготовки (рис. 13.13, *б*); накатывание резьбы с помощью резьбонакатных плашек (рис. 13.13, *в*).

Накатывание резьбы двумя роликами с радиальной подачей выполняют на специальных резьбонакатных станках (см. рис. 13,13, *а*). Заготовку 3 устанавливают на опорную линейку 4, а два вращающихся ролика 1, 2 при сближении в радиальном направлении начинают вращать заготовку и накатывать резьбу. Расстояние между роликами в конце рабочего

хода составляет

$$a = d + 0,5 (D_1 + D_2),$$

где D_1, D_2 – наружные диаметры роликов; d – внутренний диаметр накатываемой резьбы.

Режимы накатывания: скорость $v = 80 \dots 100$ м/мин для стали с $\sigma_b \leq 400$ и $v = 40 \dots 60$ м/мин для стали с $\sigma_b > 600$ МПа. В результате накатывания получают шестую-седьмую степени точности по наружному диаметру резьбы, шероховатость поверхности резьбы $R_a = 2,5 \dots 0,63$, отклонения по среднему диаметру $0,03 \dots 0,05$ мм, наибольшая накопленная ошибка шага на длине 25 мм составляет $0,02 \dots 0,04$ мм.

Резьбонакатные головки представляют собой сборный инструмент (см. рис. 13.13, б), у которого на корпусе 1 на осях установлены ролики 2. Ролики, установленные под углом подъема винтовой линии β , вращаются вокруг своей оси. Они имеют заборную часть для захода на заготовку и смещены по шагу H друг относительно друга на H/n , где n – количество установленных роликов. При осевом перемещении головки на вращающуюся заготовку происходит накатывание резьбы. В конце накатывания головка свинчивается обратным вращением. Наибольшее распространение получили самораскрывающиеся головки, у которых в конце накатывания ролики расходятся и головка быстро отводится назад. Вращающиеся головки применяют на станках автоматах, невращающиеся головки – на револьверных станках. Головки применяют для накатывания как остроугольных, так и трапециидальных резьб диаметром до 52 мм с шагом до 5 мм.

Плоские резьбонакатные плашки (см. рис. 13.13, в) представляют собой наиболее простой инструмент, однако они не обеспечивают стабильности диаметра накатываемой резьбы. Плашки применяют для накатывания резьбы на болтах, винтах, шурупах, шпильках. Плашки устанавливают параллельно на расстоянии, соответствующем внутреннему диаметру резьбы, при этом витки резьбы имеют смещение на $0,5 H$. Накатывание выполняют на плосконакатных станках, скорость накатывания $v = 5 \dots 7$ м/мин для материала с $\sigma_b \leq 600$ МПа и $v = 15 \dots 25$ м/мин для материала с $\sigma_b > 600$ МПа. Точность накатываемой резьбы во многом зависит от точности исходной заготовки, к которой предъявляют повышенные требования. Допуск на диаметр заготовки устанавливают в пределах $0,65 \dots 0,75$ от допуска на средний диаметр накатываемой резьбы, а шероховатость поверхности не ниже $R_a 3,2 \dots 2,5$.

Отделочную обработку резьбы осуществляют на прецизионных резьбонарезных станках или на резьбошлифовальных станках после закалки винтовой поверхности. Под отделку точением оставляют малые припуски $0,05 \dots 0,1$ мм. Скорость резания при отделке точением ~ 5 м/мин.

Отделку шлифованием на резьбошлифовальных станках выполняют с применением конических шлифовальных кругов, чашечных шлифовальных кругов или дисковых шлифовальных кругов, которые устанавливаются аналогично дисковым модульным фрезам. Резьбошлифование осуществляют за три перехода – черновой, чистовой и отделочный. Припуск на диаметр под шлифование составляет 0,3...0,4 мм, при этом за один проход снимается 0,02 ... 0,03 мм.

13.4. Методы нарезания зубчатых колес

На операциях зубонарезания обеспечивается получение на детали зубчатого венца с эвольвентным боковым профилем зубьев. Для зубчатого колеса эта операция является одной из последних, ей предшествуют операции, на которых происходит формирование геометрического контура колеса. В качестве технологических баз при нарезании зубьев используют основные базы колеса – базовое отверстие и торец. Соблюдение принципа единства баз позволяет обеспечить более высокую точность совпадения центра начальной окружности и оси делительного цилиндра зубчатого венца с осью базового отверстия [16, 20].

Нарезание цилиндрических зубчатых колес

Профилирование зубьев при нарезании зубчатого венца может осуществляться по методу копирования или обката. При нарезании методом копирования в качестве зуборезного инструмента используют дисковые или пальцевые модульные фрезы (см. рис. 13.14). Нарезание вы-

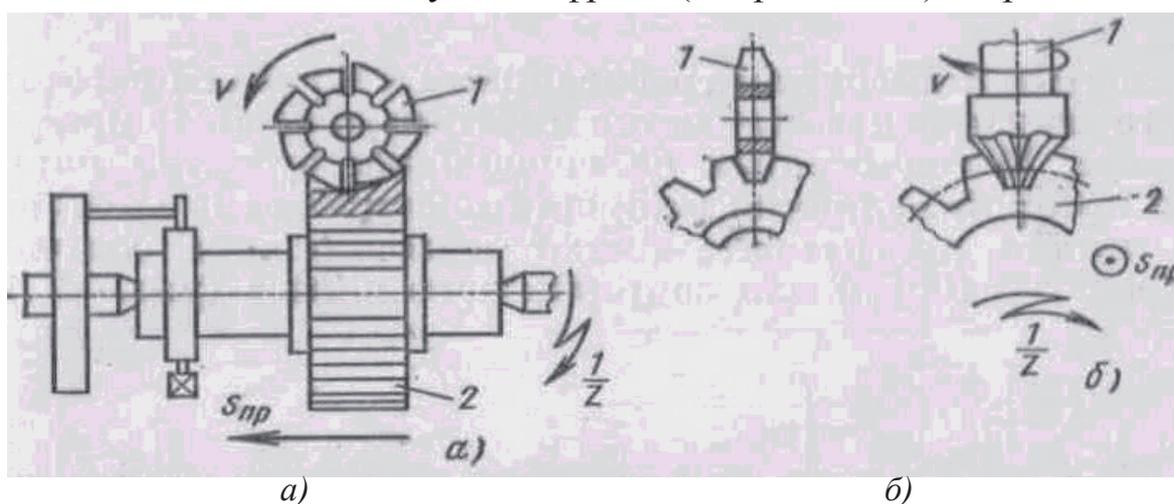


Рис. 13.14. Нарезание зубчатых колес на универсально-фрезерных станках по методу копирования модульными фрезами: *а* – дисковой; *б* – пальцевой

полняют на горизонтальных и вертикальных универсально-фрезерных станках с использованием делительной головки для периодического

поворота зубчатого колёса на шаг между зубьями. Фреза 1 вращается, создавая главное движение резания v , а заготовка 2, установленная на столе станка, перемещается в осевом направлении со скоростью продольной подачи $s_{\text{пр}}$. По окончании фрезерования одной впадины стол отводят в исходное положение и с помощью делительной головки заготовку поворачивают на угол $360^\circ / z$, то есть на $1 / z$ часть полного оборота колеса, где z – число нарезаемых зубьев.

Таким образом эвольвентная боковая поверхность зубьев и промежутков между ними получается путем копирования профиля модульной фрезы, а точность шага между зубьями определяется точностью делительной головки.

Дисковые фрезы применяют для нарезания зубчатых колес малых модулей, пальцевые – для зубчатых колес средних и больших модулей $m \geq 8$ мм, а также для нарезания шевронных зубчатых колес. Скорость резания для дисковых фрез из быстрорежущей стали $v = 20 \dots 30$ м/мин, продольная подача на оборот фрезы $s_{\text{пр}} = 1, \dots 2,5$ мм/об. Скорость резания для пальцевых модульных фрез из быстрорежущей стали $v = 25 \dots 35$ м/мин, а продольная подача в пределах $s_{\text{пр}} = 0,06 \dots 0,25$ мм/об.

Этот метод применяют для нарезания зубчатых колес невысокой (8 ... 12) степени точности. При этом производительность обработки на универсально-фрезерных станках также является невысокой. Однако преимуществом данного метода является его простота и доступность – возможность нарезания зубчатых колес на универсальных станках в различных мастерских без применения специального зуборезного оборудования.

Нарезание зубчатых колёс по методу обкатки (огибания) выполняют на специальных зуборезных станках, где в качестве зуборезного инструмента используют червячные фрезы, долбяки, режущие рейки (гребенки), обкатные резцы. Боковая поверхность нарезаемых зубьев формируется при этом как огибающая последовательных положений режущих кромок инструмента при их движении относительно заготовки. При вращении червячная фреза создает геометрию режущей (производящей) рейки, которая, зацепляясь с колесом, осуществляет его нарезание (см. рис. 13.15, а). В свою очередь, долбяк при осевом перемещении и вращении создает геометрию режущего (производящего) колеса, которое, зацепляясь с заготовкой, нарезает зубья (см.рис. 13.15, б). Требуемую последовательность положения режущих кромок инструмен-

та относительно формируемого профиля зубьев получают в результате кинематически связанных движений резания и подачи, создаваемых зуборезным станком, что определяет высокую точность обработки.

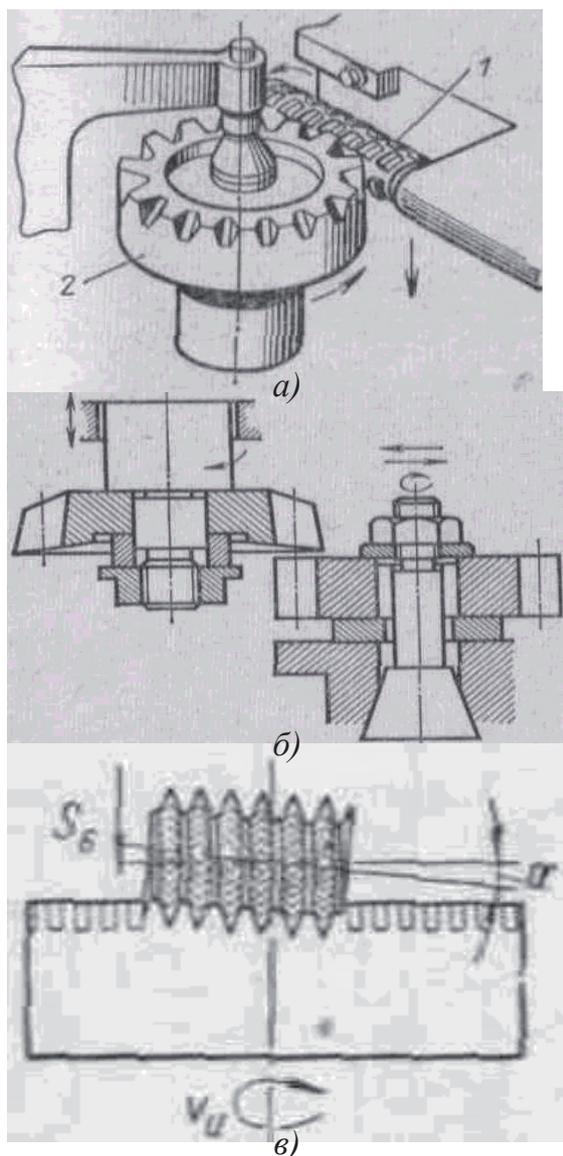


Рис. 13.15. Нарезание зубчатых колес по методу обката: *a* – на зубофрезерных станках; *b* – на зубодолбежных станках, *в* – поворот оси червячной фрезы относительно заготовки

режущие кромки которых расположены по винтовой поверхности. Частота вращения заготовки n_3 и фрезы n_n связаны между собой отношением

$$n_3 / n_n = i_0 k / z_3,$$

где k – число заходов червячной фрезы;

z_3 – число зубьев нарезаемого колеса;

Производительность нарезания зубьев по методу обкатки значительно более высокая, так как происходит непрерывное формообразование, при котором движения формообразования и деления совмещены во времени.

Нарезание червячными фрезами выполняют на зубофрезерных станках с вертикальным или горизонтальным расположением фрезы, ось которой поворачивают относительно торца заготовки на угол λ (см. рис. 13.15, *в*). При нарезании колес с прямым зубом этот угол равен углу подъема β винтовой линии фрезы $\lambda = \beta$. При нарезании косозубых цилиндрических колес угол λ рассчитывают с учетом угла ϕ наклона зубьев нарезаемого колеса:

$$\lambda = \beta \pm \phi.$$

Суммирование выполняют при наличии разных по направлению углов β и ϕ , а вычитание – при наличии равных по направлению углов.

По конструкции червячная фреза представляет собой группу реек,

представляет собой группу реек,

i_o – передаточное отношение кинематической цепи обката.

Это основной метод нарезания зубчатых колес для модулей $m = 0,5 \div 20$ мм. При модуле до $m = 2,5$ мм нарезание выполняют в один проход, при больших модулях выполняют черновое и чистовое нарезания за несколько проходов. Режимы обработки: скорость резания для фрез из быстрорежущей стали $v = 30 \dots 65$ м/мин, для твердосплавных червячных фрез $v = 110 \dots 200$ м/мин; продольная подача при предварительном нарезании $s_{пр} = 1,5 \dots 4$ мм на оборот заготовки; при чистовой обработке подачу $s_{кр}$ выбирают с учетом требований шероховатости – для $R_a = 1,25$ мкм она составляет $s_{кр} = 0,5$ мм/об, а для $R_a = 2,5 \div 5$ мкм $s_{кр} = 1 \dots 2$ мм/об. Гарантированно достигают 8-ю, а на новых станках и 7-ю степени точности колеса.

Повышения производительности при зубофрезеровании достигают применением многозаходных червячных фрез, путем одновременного нарезания нескольких зубчатых колес, а также увеличением диаметра фрезы и применения твердосплавных композиционных инструментальных материалов.

Нарезание зубчатых колес долбяком выполняют на зубодолбежных станках в основном для модулей $m = 2 \dots 8$ мм. В процессе резания окружные скорости долбяка и нарезаемого колеса на начальных окружностях равны. В соответствии с этим частота вращения заготовки n_3 и инструмента $n_и$, а также число располагаемых на них зубьев z_3 и $z_и$ связаны между собой передаточным отношением

$$i = n_и / n_3 = z_3 / z_и.$$

Косозубые цилиндрические колеса нарезают с помощью косозубых долбяков. Для зубчатых колес с модулем до $m = 2$ мм нарезание выполняют за один проход, при больших модулях от $m = 2$ мм до $m = 4$ мм нарезание выполняют за два прохода – черновое и чистовое. Зубчатые колеса с модулем $m > 4$ мм нарезают за три и более проходов.

Скорость резания при долблении выбирают с учетом круговой подачи $s_{кр}$ и модуля m в пределах $v = 15 \dots 45$ м/мин. С увеличением круговой подачи и модуля скорость резания уменьшается. Радиальная подача долбяка связана с круговой подачей соотношением $s_p = (0,1 \dots 0,3) s_{кр}$. Для колес с модулями $m = 2 \dots 6$ мм круговая подача при предварительном нарезании составляет $s_{кр} = 0,35$ мм/дв.ход, а при чистовом $s_{кр} = (0,25 \dots 0,22)$ мм/дв.ход. С увеличением модуля подача $s_{кр}$ уменьшается.

Долблением достигают 8-ю, 7-ю степени точности колеса, шеро-

ховатость поверхности зубьев $R_a = 1,25$ мкм. Важным преимуществом этого метода является возможность нарезания многовенцовых зубчатых колес при расстоянии между венцами 3 ... 5 мм. При таком малом расстоянии нельзя применять зубофрезерование, так как происходит зарезание смежных венцов. Кроме того зубодолбление является практически единственным способом нарезания колес внутреннего зацепления среднего и малого диаметров.

На специальных станках выполняют долбление (зубострогание) с использованием режущей рейки. Этот процесс менее производителен, чем нарезание долбяком. Однако на этих станках можно относительно просто нарезать косозубые колеса путем разворота режущей рейки на соответствующий угол.

В крупносерийном и массовом производствах для нарезания прямозубых цилиндрических колес применяют зубодолбежные головки, которые по методу копирования одновременно нарезают все впадины между зубьями. Фасонные резцы, определяющие профиль зубчатого венца, за каждый двойной ход перемещаются к центру колеса на величину радиальной подачи. Нарезание колеса заканчивается после нескольких двойных ходов при заглаблении резцов на полную глубину зуба.

Зуботочение долбяком осуществляют на специальных станках. Долбяк при этом методе выполняет роль огибающего резца, который вращается, зацепляется с колесом и перемещается вдоль оси, осуществляя точение зубьев. Это наиболее производительный метод зубонарезания. Он обеспечивает 7-ю степень точности нарезаемого колеса, профиль зубьев которого также формируется по методу обката. Зуботочение долбяком по производительности в 3-4 раза выше, чем зубофрезерование.

Накатывание зубчатого венца выполняют на специальных установках. Накатывание представляет собой метод получения зубчатого венца без снятия слоя материала. Формирование требуемого профиля зубьев происходит в результате пластического деформирования металла под действием зубонакатного инструмента – накатника (рис. 13.16).

При накатке происходит уплотнение металла и ориентация его волокон по профилю зуба. В результате повышаются прочностные характеристики зубьев – износостойкость, усталостная прочность. У накатанных зубьев статическая прочность на излом и износостойкость в 1,5...3 раза выше, чем у зубьев, полученных зубофрезерованием.

Различают холодное и горячее накатывание. Холодное накатывание выполняют для зубчатых колес из стали или цветных металлов с малым модулем (до $m = 1,5 \dots 2$ мм.) Материал таких колес должен иметь достаточную пластичность. Заготовки под холодное накатывание должны иметь высокую точность диаметральных размеров, не ниже качества IT7. В противном случае при значительных отклонениях диаметральных размеров возможна поломка накатника. При холодном накатывании зубчатого венца модулем до 2 мм достигают 7 – 8-й степени точности.

Горячее накатывание применяют для зубчатых колес с модулем $m > 2$ мм. С помощью установки для нагрева токами высокой частоты заготовку за 20...30 с перед накатыванием нагревают до температуры 1000...1200 °С. Затем заготовку устанавливают на оправку, подводят в радиальном направлении два вращающихся накатника и совершают накатывание зубчатого венца. Штучное время накатывания зубьев для колес модулем $m = 2 \dots 5$ мм составляет 0,5...2 мин. Горячее накатывание в большинстве случаев является операцией предварительной, в результате которой достигают 11 ... 12-й степеней точности зубчатого колеса.

Нарезание зубчатых колес внутреннего зацепления осуществляют следующими методами: фрезерованием дисковыми модульными фрезами по методу копирования с использованием специальных приспособлений для ввода фрезы в отверстие и делительной головки для поворота зубчатого колеса на шаг; путем долбления по методу обката на зубодолбежных станках; протягиванием на вертикальных или горизонтально-протяжных станках. Возможно одновременное протягивание всего зубчатого венца специальными дорогостоящими протяжками или поочередное протягивание каждой впадины между зубьями.

Нарезание конических зубчатых колес выполняют следующими методами: зубостроганием двумя резцами на зубострогальных станках

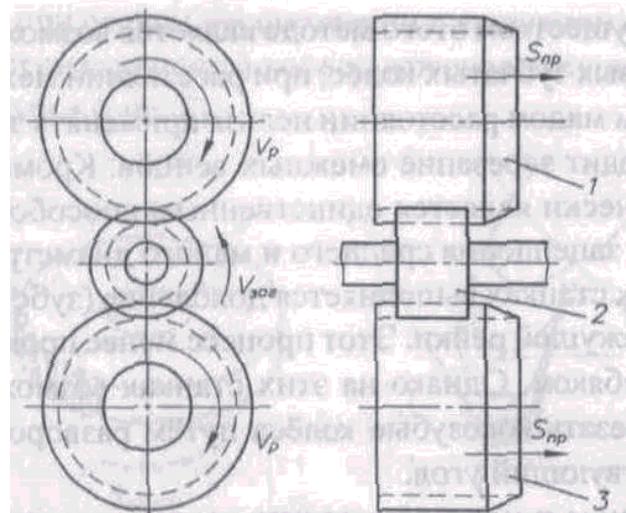


Рис. 13.16. Схема накатывания зубчатого венца: 1, 3 – накатные ролики; 2 – накатываемое колесо

(рис. 13.17); зубофрезерованием двумя дисковыми фрезами; протягиванием зубьев круговой протяжкой, фрезерованием дисковыми или пальцевыми модульными фрезами по методу копирования (предварительное нарезание) с использованием приспособления для деления на шаг.

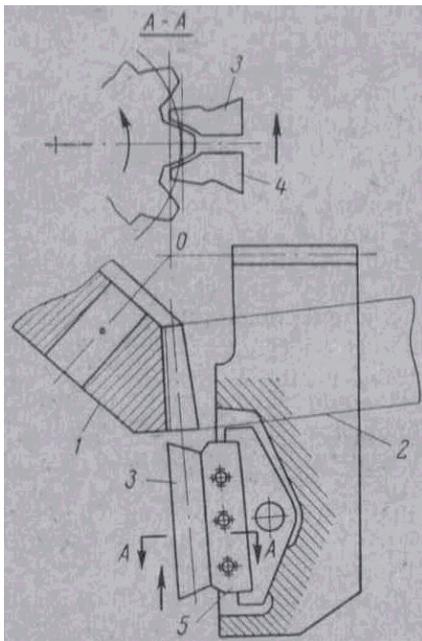


Рис. 13.17. Нарезание зубьев конического колеса на зубошарофовальном станке: 1 – нарезаемое колесо; 2 – воображаемое колесо, зубья которого создаются двумя шарофовальными резцами; 3 и 4 – шарофовальные резцы

Зубошарофание двумя резцами обеспечивает формирование геометрии зубчатого венца по методу обкатки (рис. 13.18). Два зубошарофовальных резца поочередно совершают возвратно-поступательное движение резания v_{px} (р – резание при прямом ходе и х – холостой ход при возврате), создавая таким образом зуб производящего плоского конического колеса. Заготовка нарезаемого конического колеса, зацепляясь с воображаемым производящим колесом, совершает вращение обкатки s_3 и движение подачи s_t на глубину впадины между зубьями. Зубошарофовальные резцы установлены на люльке, которая при обкатке также совершает возвратно-вращательное движение s_d . Возвратно-вращательные движения люльки с резцами s_d и заготовки s_3 являются движениями обкатки. Они согласуются настройкой кинематической цепи станка в соответствии с передаточным отношением:

$$i = z_n / z_3,$$

где z_n – фиктивное число зубьев воображаемого производящего колеса; z_3 – число зубьев нарезаемого колеса.

После нарезания одного зуба заготовка автоматически отводится от резцов и шпиндельная бабка с заготовкой поворачивается на шаг $1/z_3$, выполняя таким образом требуемое угловое деление.

Скорость резания при предварительном зубошарофовании $v = 13 \dots 25$ м/мин, при чистовом $v = 15 \dots 32$ м/мин, подача $s_t = 0,15 \dots 0,3$ мм/дв.ход. Зубошарофание обеспечивает 7 – 8-ю степени точности и шероховатость боковых поверхностей зубьев $R_a = 1,2 \dots 2,5$ мкм.

Зубофрезерование двумя дисковыми сборными фрезами выполняют

на специальных станках. Требуемая геометрия зубчатого венца формируется аналогично по методу обката. Однако в отличие от предыдущего

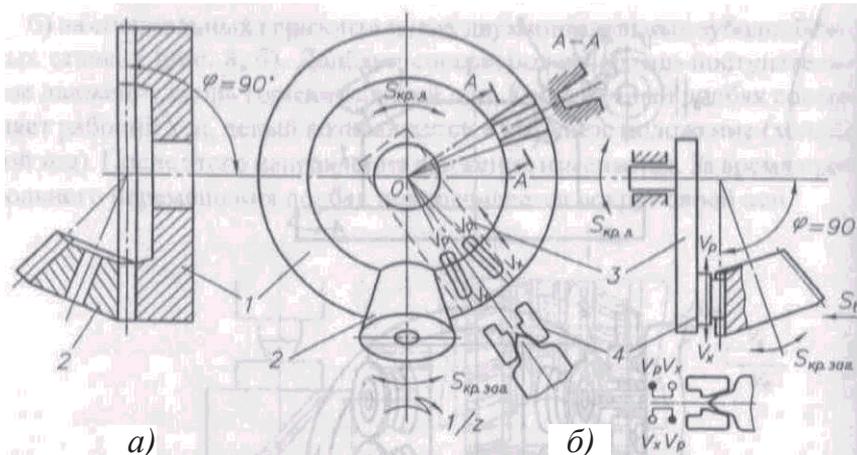


Рис. 13.18. Схема формообразования при зубострогании: *а* – схема обката; *б* – схема движения рабочих органов зубострогального станка

го метода зуб производящего плоского конического колеса создается двумя вращающимися дисковыми фрезами большего диаметра ($D_f = 275$ мм) (рис. 13.19). Вращение двух модульных фрез создает движение резания v , а возвратно-вращательные движения люльки с фрезами s_d и заготовки s_3 создают движения обката. За-

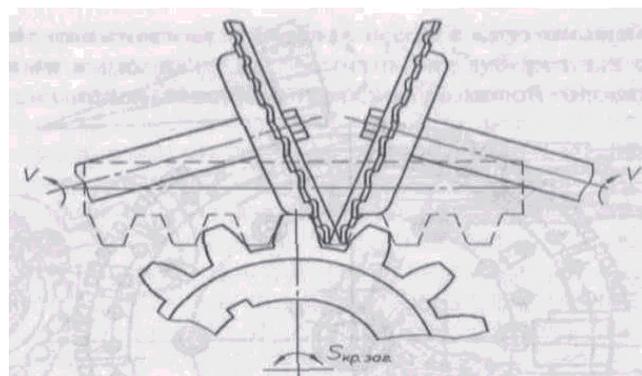


Рис. 13.19. Нарезание зубьев конического колеса двумя дисковыми сборными фрезами

готовка при нарезании не меняет направления вращения. По окончании обкатки каретка с заготовкой отводится, а люлька поворачивается в обратном направлении, за этот период происходит поворот заготовки на требуемый угол деления $1/z_3$. По производительности этот процесс в 3...5 раз выше зубострогания. Достигают 8-ой степени точности.

Протягивание зубьев круговой протяжкой выполняют на специальных станках-автоматах и полуавтоматах в крупносерийном и массовом производстве. Это наиболее производительный метод нарезания конических зубчатых колес, при котором продолжительность формирования одной впадины составляет 2...4 с. Круговая протяжка диаметром 635 мм (рис. 13.20) является специальным зуборезным инструментом. Она состоит из 15 сменных зубчатых блоков, образующих сектор предварительного на-

резания (блоки 1...11) и сектор чистового нарезания (блоки 12...15). В промежутке между секторами 11 – 12 устанавливают фасочные резцы.



Рис. 13.20. Протягивание зубьев круговой протяжкой

Требуемая геометрия канавки между зубьями формируется по методу копирования на неподвижной заготовке при кинематически-связанном вращении v и возвратно-поступательном перемещении s круговой протяжки. При врезании протяжки и поступательном перемещении от точки 0 до 01 нарезание выполняют первые четыре блока (1 – 4). Следующие пять блоков (5 – 9) выполняют резание при отсутствии поступательного движения подачи $s = 0$. Затем подача возобновляется и при поступательном перемещении оси протяжки от точки 01 до 02 нарезание выполняют полустовые блоки (10 – 11) и фасочные резцы. При обратном перемещении протяжки с равномерной подачей от точки 0₂ до 0₃ происходит окончательное формирование бокового профиля канавки чистовыми зубчатыми блоками (12 – 15). В конце цикла протяжка перемещается от точки 0₃ до 0 и возвращается в исходное положение. При прохождении над заготовкой свободного углового сектора, равного 40° , происходит автоматический поворот заготовки на угловой шаг $1/z_3$. Затем аналогично в автоматическом цикле на заготовке нарезается следующая впадина и так далее до полного нарезания зубчатого венца. Скорость резания при круговом протягивании $v = 25...58$ м/мин, оно обеспечивает 9-ю степень точности и шероховатость зубьев $R_a = 2,5...5$ мкм.

Фрезерование дисковыми или пальцевыми модульными фрезами по методу копирования применяют для предварительного нарезания зубчатого венца конических колес. У конических колес расстояние между боковыми поверхностями двух зубьев в начале и конце зуба различно, оно меняется по длине зуба. Поэтому получить точный про-

филь зуба методом копирования не представляется возможным. Однако этот метод применяют на специальных станках-полуавтоматах для

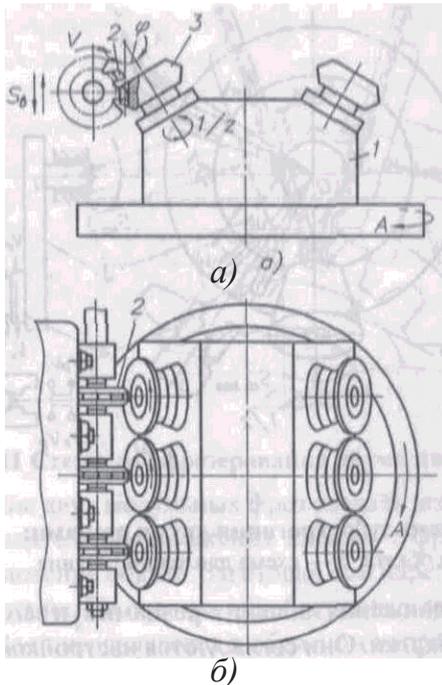


Рис. 13.21. Многоместное поворотное приспособление для фрезерования конических колес: 1 – приспособления; 2 – модульная фреза; 3 – нарезаемое колесо

повышения производительности предварительного нарезания зубьев, что позволяет разгрузить точные зуборезные станки. Схема такого нарезания на специальном полуавтомате показана на рис. 13.21. После прорезания каждой впадины все три колеса автоматически поворачиваются вокруг своей оси на шаг. Этот процесс продолжается до нарезания всего венца, после чего приспособление поворачивается на 180° и на позицию обработки поступают три новые заготовки. Одновременное нарезание в поворотном многоместном приспособлении трех конических колес модульными фрезами, установленными на одной оправке, позволяет получить высокую производительность обработки за счет совмещения во времени основных и вспомогательных переходов. Применение поворотного приспособления позволяет выполнять съем и установку новых заготовок в процессе обработ-

ки на другой позиции трех других заготовок.

При отсутствии специальных зуборезных станков конические колеса 9...10-й степеней точности можно нарезать на универсально-фрезерных станках дисковыми или пальцевыми модульными фрезами аналогично нарезанию цилиндрических колес (см. рис. 13.14) за три прохода, между которыми выполняют коррекцию положения заготовки относительно фрезы. Заготовку закрепляют на шпиндель делительной головки и первым проходом прорезают впадину, соответствующую наименьшему расстоянию между зубьями. Это проделывают для всех зубьев. Перед выполнением второго и третьего проходов стол делительной головки поворачивают на угол α между образующей боковой поверхностью и осью зуба колеса. После этого поочередно фрезеруют одну, а затем и вторую боковые поверхности смежных зубьев.

Нарезание конических зубчатых колес с круговыми (спиральными)

зубьями выполняют на специальных зуборезных станках по методу обкатки с использованием торцевой резцовой головки (рис. 13.22). Резцо-

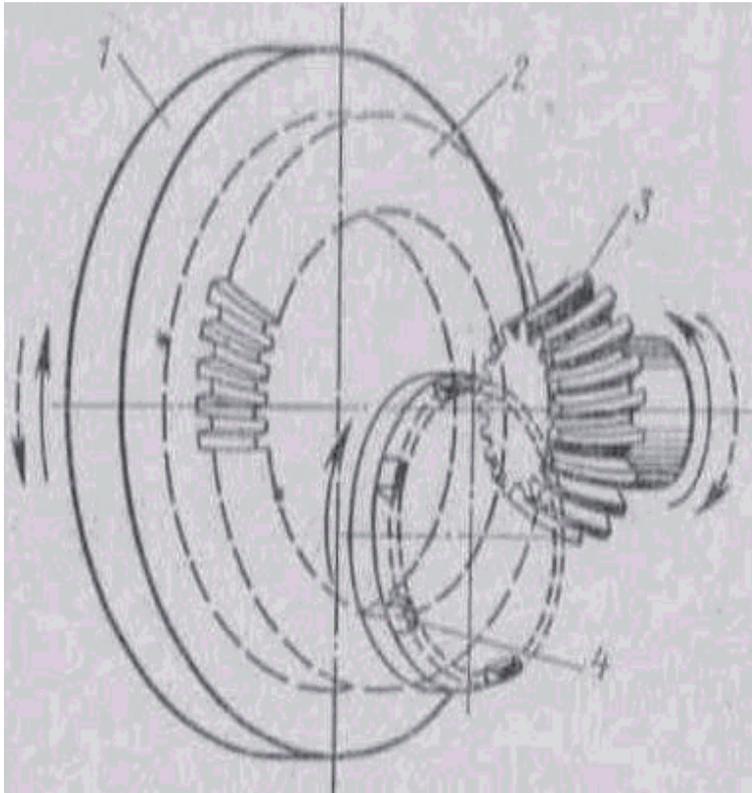


Рис. 13.22. Нарезание конических колес со спиральными зубьями

вая головка установлена на люльке со смещением относительно ее центра. При вращении резцовой головки, создающей движение резания v , и возвратно-вращательном движении люльки $s_{\text{л}}$ происходит создание режущего зуба производящего плоского конического колеса. В процессе обката нарезаемая заготовка вращается с круговой подачей s_z , зацепляясь с производящим колесом. По окончанию обработки одной впадины заготовка выводится из зацепления, а люлька поворачивается в исходное положение. В момент возврата люльки в исходное положение заготовка занимает новое угловое положение, которое соответствует очередной нарезаемой впадине. Затем движением подачи врезания s_f заготовку подводят к резцовой головке на глубину впадины и цикл обработки повторяют. Скорость резания $v = 30 \dots 60$ м/мин, подача на зуб зуборезной головки $s_z = 0,05 \dots 0,075$ мм. Нарезание выполняют за один или несколько проходов. Припуск, оставляемый на чистовой проход, зависит от модуля: для колес с модулем $m = 2 \dots 5$ мм он составляет $z = 0,5 \dots 0,7$ мм, а для колес с $m = 5 \dots 10$ мм припуск $z = 0,8 \dots 1$ мм. Время нарезания одного зуба $15 \dots 57$ с.

В крупносерийном и массовом производствах плоские конические колеса диаметром $175 \dots 350$ мм с криволинейным зубом получают путем горячего накатывания на зубонакатных полуавтоматах. Вначале поверхность под зубчатый венец нагревают с помощью индуктора токами высокой частоты, затем при вращении происходит накатывание зубьев, в процессе которого накатник заглубляется в заготовку на требуемую

вая головка установлена на люльке со смещением относительно ее центра. При вращении резцовой головки, создающей движение резания v , и возвратно-вращательном движении люльки $s_{\text{л}}$ происходит создание режущего зуба производящего плоского конического колеса. В процессе обката нарезаемая заготовка вращается с круговой подачей s_z , зацепляясь с производящим колесом. По окончанию обработки одной впадины заготовка выводится из зацепления,

высоту зуба. С целью повышения точности по окончании накатки тем же инструментом с одной установки производят обкатку зубьев полученного колеса, которая продолжается до температуры охлаждения зубьев 600 °С. В результате получают зубчатые колеса 8-ой степени точности, не требующие дальнейшей обработки зубчатого венца.

Отделка зубчатых колес

Отделку зубчатого венца осуществляют с целью получения колес более высокой точности. Отделочные операции закаленных зубчатых колес обычно выполняют после термообработки – закалки зубчатого венца и базового отверстия. В результате закалки, обеспечивающей повышение поверхностной твердости зубчатого венца и базового отверстия, происходит потеря геометрической точности колеса в среднем на 0,5...1 степень точности. В начале выполняют отделку основных конструкторских баз колеса – базового отверстия и торца – а затем выполняют отделку зубчатого венца.

Отделку базового отверстия и торца выполняют на внутришлифовальных станках. Базирование колеса на операции внутреннего шлифования происходит по делительному цилиндру и торцу, что позволяет получить равномерность припуска на боковых поверхностях зубьев при их последующей отделке.

Отделку зубчатого венца выполняют следующими методами: шевингованием, зубошлифованием, зубохонингованием, зубопритиркой.

Шевингование является методом отделки зубьев незакаленных зубчатых колес. Операцию выполняют на специальных шевинговальных станках. В качестве режущего инструмента применяют круглый шевер, представляющий собой зубчатое колесо диаметром 150 ... 170 мм и шириной 19 мм, на боковых поверхностях которого расположены режущие лезвия (рис. 13.23).

Круглый шевер 1 (рис. 13.23, а) находится в зацеплении с обрабатываемым зубчатым колесом 2, закрепленным на оправке в центрах на столе 3 станка. Шевер принудительно вращает заготовку поочередно в правом и левом направлении, а стол 3 совершает возвратно-поступательные перемещения продольной подачи $s_{пр}$ (рис. 13.23, б). Для осуществления резания используют относительное скольжение между зубьями инструмента и заготовки, для чего шевер и колесо устанавливают со скрещенными осями под углом $\alpha \approx 15^\circ$ (рис. 13.23, в). По окончании двойного хода включается радиальная подача s_p и стол 3 по-

дается вверх на $s_p = 0,02 \dots 0,04$ мм за двойной ход. Таким образом, припуск под шевингование $0,1 \dots 0,2$ мм снимают за $5 \dots 10$ двойных ходов.

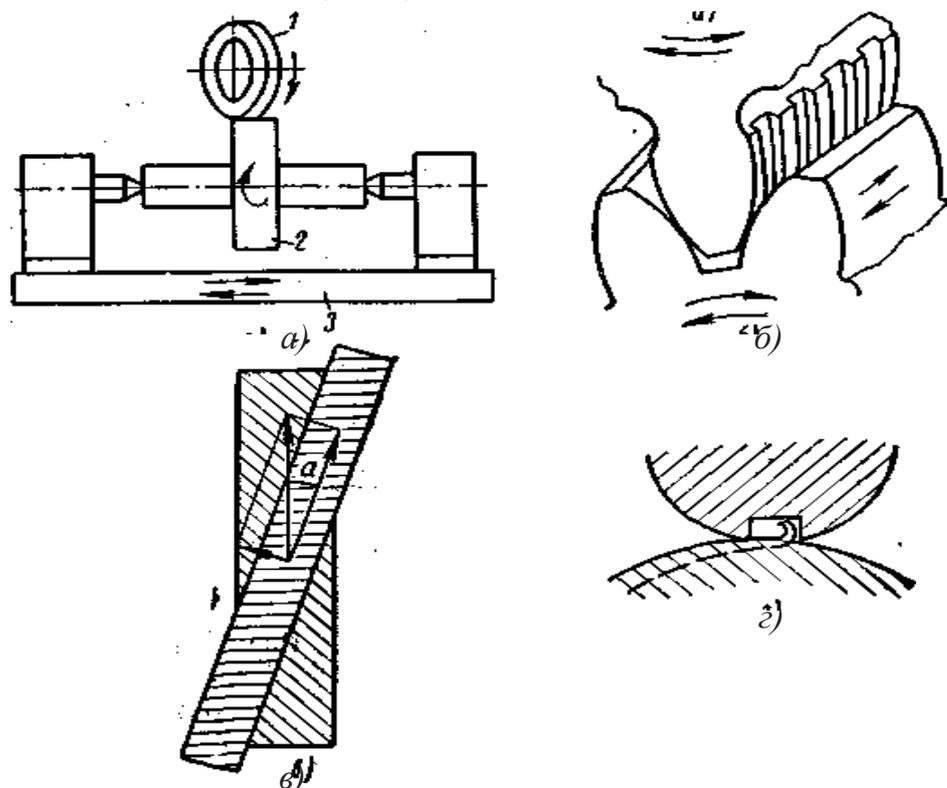


Рис. 13.23. Отделка зубьев незакаленных зубчатых колес шевингованием: *a* – схема установки заготовки на столе станка; *б* – направление движения инструмента и заготовки; *в* – угол скрещивания осей заготовки и шевера; *г* – формирование стружки

Окружная скорость шевера из быстрорежущей стали Р18 на начальной окружности $v = 110 \dots 145$ м/мин, скорость продольной подачи стола на оборот заготовки $s_{пр} = 0,15 \dots 0,6$ мм/об. Припуск по толщине зуба, оставляемый под шевингование, может быть рассчитан по формуле

$$z = 0,035 m,$$

где m – модуль нарезаемого колеса.

Шевингование выполняют при обильном охлаждении с помощью СОЖ.

Шевингование обеспечивает повышение точности зубчатого колеса на одну, а иногда полторы степени. При этом повышается точность профиля зубьев, точность шага, уменьшается биение зубчатого венца, шероховатость боковой поверхности зубьев снижается с $R_a = 3 \dots 2,5$ мкм до $R_a = 0,63 \dots 0,32$ мкм, в результате повышаются нормы плавности и контакта зубьев. Время обработки одного зуба $1,5 \dots 2,5$ с.

Шевингование позволяет получить зубчатые колеса 7-ой степени точности: радиальное биение 0,01...0,02 мм; неравномерность окружного шага 0,015 мм, накопленная ошибка шага 0,04 мм, отклонение по направлению профиля зуба в пределах 0,015 мм.

Шевингование применяют в серийном и крупносерийном производствах. Этой операции обычно предшествует чистовое нарезание зубьев червячной фрезой. Шевингование плохо исправляет грубо нарезанные зубчатые колеса.

Зубошлифование является методом отделки зубчатого венца закаленных зубчатых колес с использованием абразивного режущего инструмента – шлифовальных кругов. Эту операцию обычно выполняют после термической обработки для получения зубчатых колес 7-й, 6-й, 5-й и более высоких степеней точности, работающих на высоких скоростях.

Зубошлифование является наиболее надежным методом отделки, обеспечивающим гарантированное достижение высокой точности колес, практически не зависимо от погрешности нарезания зубчатого венца на предшествующих переходах.

Зубошлифование применяют также для отделки закаленных зубчатых колес 9-й, 8-й степеней точности, когда деформация зубьев после термической обработки составляет более 0,05 мм и биение делительной окружности превышает 0,1 мм, что нельзя устранить притиркой.

Применяемые на практике зубошлифовальные станки работают по одной из трех рассмотренных ниже схем (рис. 13.24), каждая из которых определяется соответствующим методом формообразования. Зубошлифование по методу копирования выполняют профильным дисковым шлифовальным кругом, контур которого соответствует контуру впадины между зубьями (рис. 13.24, *а*). Профильный шлифовальный круг вращается со скоростью v_k , а заготовка совершает возвратно-поступательные перемещения продольной подачи $s_{пр}$. При выходе круга из заготовки происходит единичное деление для шлифования другой впадины. Однако с целью усреднения влияния износа круга на точность зубьев колеса поворот при делении выполняют не на один угловой шаг $1/z_3$, а на несколько шагов. Шлифование каждой впадины выполняют за несколько ходов. После чернового шлифования всех впадин происходит автоматическая профильная правка шлифовального круга с помощью алмазных карандашей (рис. 13.24, *б*). В результате

правки восстанавливается геометрическая точность круга и его режущая способность.

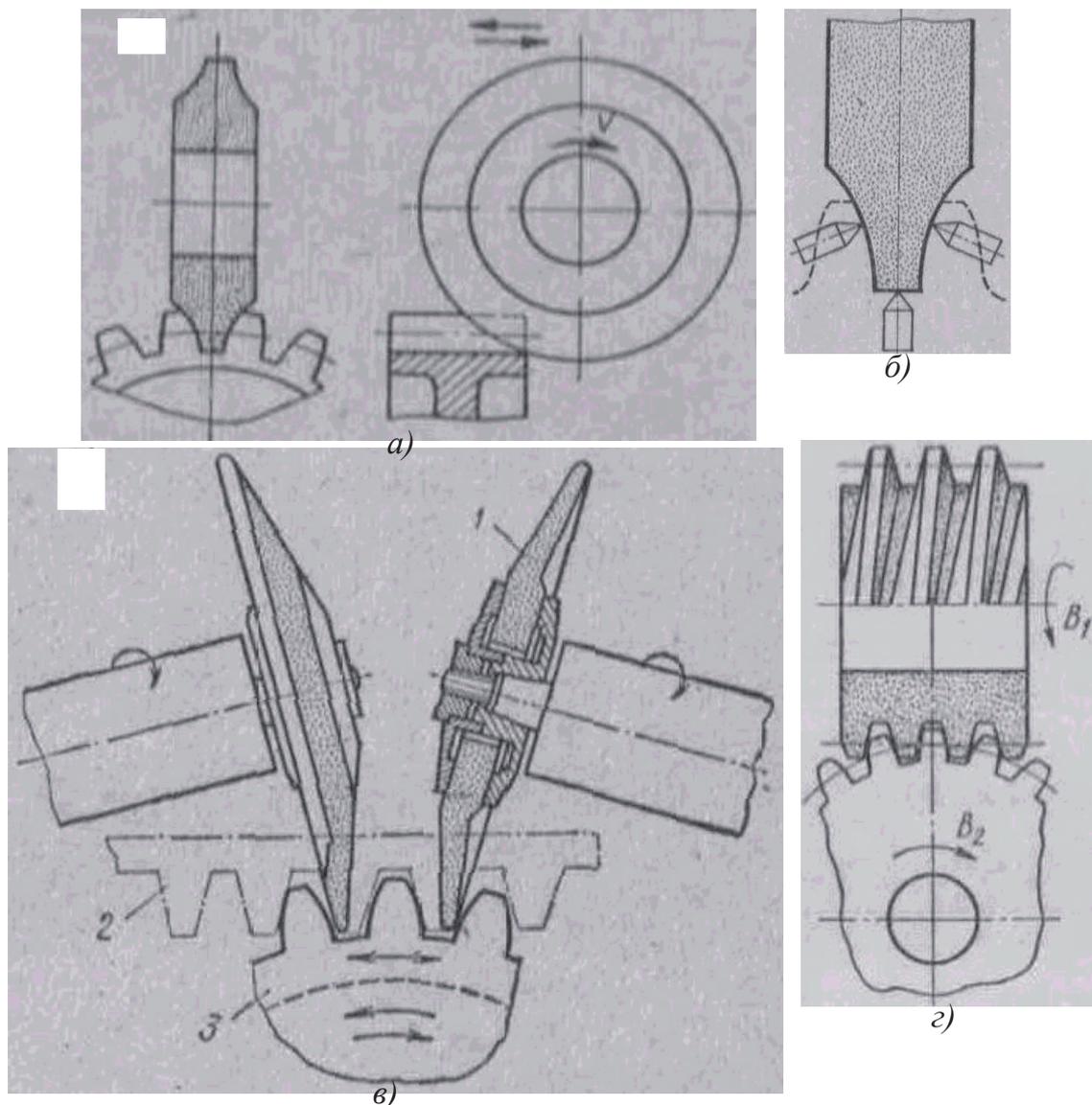


Рис. 13.24. Шлифование зубчатых колес: а – по методу копирования; б – правка шлифовального круга; в – по методу обката двумя кругами; г – по методу обката абразивным червяком: 1 – шлифовальный круг; 2 – производящая рейка; 3 – шлифуемое колесо

В процессе чистового шлифования зубчатое колесо также совершает несколько оборотов. Припуск на сторону боковой поверхности зуба составляет $z = 0,13 \dots 0,15$ мм для модулей $m < 2$ мм и $z = 0,16 \dots 0,24$ мм для модулей в пределах $m = 2 \dots 7$ мм. Скорость резания $v_k = 25 \dots 30$ м/с. Радиальная подача на проход при предварительном шлифовании $0,05 \dots 0,15$ мм, при чистовом $0,02 \dots 0,03$ мм. Продольная подача стола при предварительном шлифовании $s_{пр} = 10 \dots 13$ м/мин, при чисто-

вом $s_{\text{пр}} = 7 \dots 9$ м/мин. Число проходов при обработке одной впадины – $8 \dots 10$.

Этот метод шлифования применяют главным образом для отделки прямозубых зубчатых колес, производительность его выше, чем при обкатке двумя тарельчатыми кругами, однако точность обработки несколько ниже. В результате зубошлифования получают колеса 6-й степени точности – погрешность профиля 2,5 мкм, погрешность по шагу 5 мкм, биение зубчатого венца 13 мкм

Зубошлифование методом обкатки выполняют двумя тарельчатыми кругами с прямолинейными боковыми сторонами (рис. 13.24, в). Круги вращаются v_k , а заготовка совершает возвратно-вращательное движение круговой подачи $s_{\text{кр}}$. В результате происходит формирование зубьев воображаемой производящей рейки, с которой зацепляется нарезаемое колесо. Заготовка совершает также возвратно-поступательные перемещения продольной подачи $s_{\text{пр}}$, а при выходе круга происходит ее поворот с целью единичного деления $1/z_3$ для шлифования других зубьев.

Шлифовальные круги при этом методе располагают под углом $\alpha = 15 \dots 20^\circ$, однако возможно также параллельное расположение кругов при угле $\alpha = 0^\circ$. Режимы резания: скорость $v_k = 25 \dots 35$ м/с, радиальная подача 0,03...0,1 мм на двойной ход, продольная подача $s_{\text{пр}} = 10 \dots 20$ м/мин. Круговую подачу $s_{\text{кр}}$ выбирают в соответствии с требованиями шероховатости боковой поверхности зуба – для $R_a = 0,32$ мкм она составляет $s_{\text{кр}} = 0,16 \dots 0,4$ мм на ход, а для $R_a = 0,63$ мкм $s_{\text{кр}} = 0,3 \dots 0,9$ мм.

Для колес $m \leq 5$ мм припуск на сторону зуба под шлифование $z = 0,18 \dots 0,32$ мм, его снимают за 4...6 ходов. При этом глубина шлифования на последнем проходе составляет 0,01 мм. В результате шлифования получают колеса 6-й, 5-й и более высокой степеней точности. Достижимая точность профиля 2 мкм, погрешность по шагу 3 мкм, биение зубчатого венца в пределах 10 мкм.

Зубошлифование абразивным червяком выполняется на специальных станках и является наиболее производительным методом отделки зубчатого венца (рис. 13.24, г). Формирование геометрии зубьев осуществляется по методу обкатки аналогично зубофрезерованию червячной фрезой. Процесс шлифования происходит непрерывно, движения формообразования и деления совмещены во времени. В результате этого производительность обработки в 5-6 раз выше способа шлифования двумя кругами.

При модуле $m = 1$ мм зубья колеса вышлифовывают из цилиндрической заготовки без их предварительного нарезания.

Абразивный червяк по геометрии может быть цилиндрическим и глобоидным. Правку абразивного червяка выполняют резбовым роликом или специальным устройством для профильной правки.

Скорость резания $v_k = 25 \dots 35$ м/с. В результате шлифования получают колеса 6-й, 5-й степеней точности – достигаемая точность профиля 2,5 мкм, погрешность по шагу 3 мкм, биение зубчатого венца в пределах 15 мкм.

О производительности рассмотренных выше способов зубошлифования можно судить по затратам времени на шлифование одного зуба колеса при модуле $m = 2 \dots 3$ мм. При шлифовании по методу копирования оно составляет 30...40 с, при обкатке с единичным делением 70...90 с, а при непрерывной обкатке абразивным червяком 16 с.

Зубошлифование конических колес с прямым и круговым зубом выполняют на специальных станках по методу обката.

Шлифование круговых зубьев конических колес выполняют чашечным кругом методом обката с единичным делением. Схема обработки аналогична нарезанию круговых зубьев торцевой резцовой головкой.

Хонингование зубьев выполняют на зубохонинговальных станках. В качестве режущего инструмента применяют зубчатый хон, который представляет собой абразивное прямозубое или косозубое колесо на стальной ступице. Зубчатый венец хона имеет тот же модуль, что и обрабатываемое колесо. Его получают из абразивного порошка с использованием бакелитовой связки.

Хонингование применяют для чистовой отделки закаленных цилиндрических зубчатых колес внешнего и внутреннего зацепления, а также для отделки блоков шестерен, когда невозможно использовать зубошлифование. По кинематике этот процесс близок к шевингованию. Хон находится в беззазорном зацеплении с обрабатываемым колесом и принудительно вращает его с притормаживанием поочередно в левом и правом направлении. При этом колесо совершает также возвратно-поступательное движение подачи $s_{пр}$ вдоль своей оси. В отличие от шевингования отсутствует радиальная подача.

При частоте вращения хона $n = 120 \dots 200$ мин⁻¹ его окружная скорость составляет $v = 60 \dots 300$ м/мин, скорость подачи стола $s_{пр} = 120 \dots 210$ мм/мин. Под зубохонингование оставляют припуск не более 0,02...0,05 мм. Хо-

нингование применяют для колес с модулем $m = 1,5 \dots 6$ мм. Время хонингования зубчатого венца одного колеса составляет порядка $2,5 \dots 6$ мин.

В результате хонингования происходит исправление профиля боковой поверхности зуба, уменьшается шероховатость боковых поверхностей зубьев, что повышает долговечность зубчатой передачи.

Зубопритирку выполняют на зубопритирочных станках для чистовой отделки зубчатого венца. Притирка осуществляется путем одновременной обкатки зубчатого колеса тремя притирами из серого мелкозернистого чугуна 180...220 НВ.

В качестве притиров используют сопряженные зубчатые колеса одного модуля. Толщина зуба притиров меньше толщины зуба нарезаемого колеса на $0,07$ модуля m , при этом число зубьев притира не должно быть кратным числу зубьев колеса. Допустимая погрешность изготовления притиров составляет: по профилю $\pm 0,005$ мм, по шагу $0,01$ мм, по биению зубьев $0,015$ мм.

Притиры располагают по периметру колеса через 120° , причем два притира имеют скрещивания своих осей с осью заготовки под углом $5^\circ \dots 10^\circ$. Для притирки применяют мелкозернистый абразив в смеси с машинным маслом или абразивные пасты, которые равномерно наносят на поверхность зубьев. Обрабатываемое колесо реверсивно вращается с окружной скоростью $v = 20 \dots 40$ м/мин и совершает возвратно-поступательные движения вдоль своей оси.

В результате наклонного расположения сопрягаемых боковых поверхностей колеса и притиров происходит профильное скольжение, которое обеспечивает качественную притирку по всей ширине обеих боковых поверхностей зубьев. Искусственное изнашивание боковых поверхностей зубьев колеса в соответствии с профилем зубьев притира формирует поверхность высокого качества $R_a = 0,16 \dots 0,32$ мкм, что увеличивает плавность работы передачи, снижает шум и повышает долговечность колес. Зубопритирку выполняют после зубошлифования для повышения качества ответственных зубчатых колес.

Максимальный слой материала, удаляемый в процессе притирки, не должен превышать $0,05$ мм. Значительные погрешности бокового профиля зубьев притирка не исправляет.

Нарезание червячных пар

Червячная пара представляет собой кинематическое соединение червяка и сопрягаемого с ними червячного колеса. Поэтому нарезание

червячных пар предусматривает нарезание как червяков, так и сопрягаемых червячных колес.

Перед нарезанием винтовой поверхности червяки обрабатывают как обычные валы по всему контуру. На червяках может быть нарезана архимедова, конволютная или эвольвентная винтовые поверхности.

Нарезание винтовой поверхности червяка может быть выполнено одним из рассмотренных ниже способов.

Нарезание червяков на токарно-винторезных станках осуществляют профильными резцами. На этих станках выполняют также отделку винтовой поверхности чистовым точением.

Архимедов червяк имеет в осевом сечении прямолинейный профиль. Профиль в нормальном сечении выпуклый, прямолинейный. В торцевом сечении – спираль Архимеда. Его нарезают из цилиндрической заготовки резцами с прямолинейными режущими кромками, которые устанавливают в плоскости, проходящей через ось симметрии червяка (рис. 13.25, а).

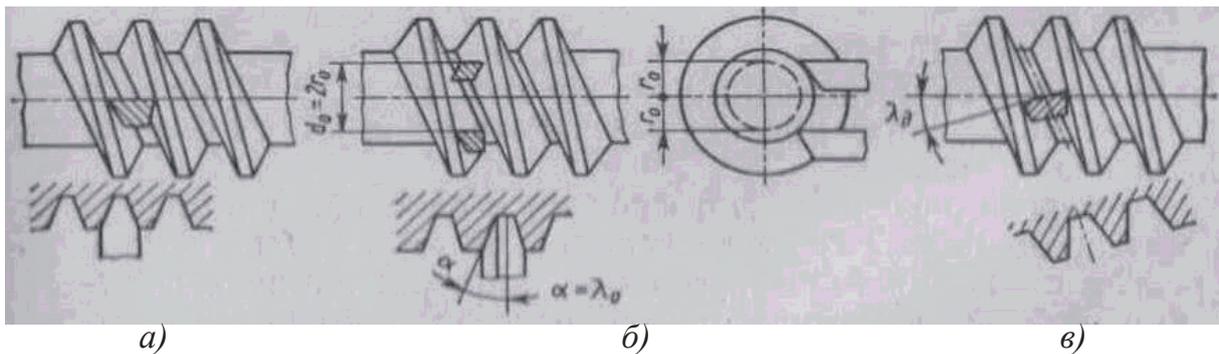


Рис. 13.25. Установка резцов при точении червяков с различной винтовой поверхностью: а – архимедовой; б – эвольвентной; в – конволютной

Эвольвентный червяк имеет в осевом и нормальном сечениях криволинейный профиль, в торцевом сечении профиль очерчен по эвольвенте. В сечении плоскостью касательной к направляющему цилиндру имеет место прямая линия, наклоненная к оси под углом β . Такие червяки нарезают резцами с прямолинейными режущими кромками, которые устанавливают в плоскости касательной к основному цилиндру (рис. 13.25, б).

Конволютный червяк имеет прямолинейный профиль в нормальном сечении. В осевом сечении профиль витка криволинейный. В торцевом сечении – удлиненная эвольвента (конволюта). Его нарезают профильными резцами с прямолинейными режущими кромками, которые устанавливают так, что передняя режущая кромка располагается

по нормали к винтовой линии, то есть под углом β к оси червяка, где β – угол подъема винтовой линии (рис. 13.25, в).

Нарезание стальных червяков $m \leq 6$ мм выполняют путем многопроходной обработки твердосплавными резцами со скоростью резания $v = 75 \dots 130$ м/мин, при этом достигают 6...8-ю степени точности.

Нарезание червяков на резьбо-фрезерных станках выполняют с использованием дисковых модульных фрез, ось вращения которых располагают под углом β к оси червяка (рис. 13.26). Этот метод применяют для предварительного нарезания винтовой поверхности червяка.

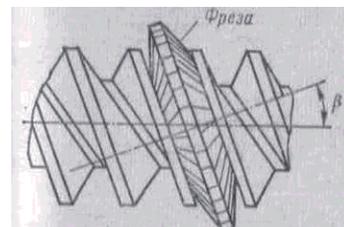


Рис. 13.26. Нарезание винтовой поверхности червяка фрезерованием

При нарезании червяков из углеродистой стали скорость резания для фрез из быстрореза $v = 30 \dots 45$ м/мин, а подача на зуб фрезы $s_{пр} = 0,03 \dots 0,06$ мм/зб. Достигают 8 ... 9-ю степени точности.

Нарезание кольцевой резцовой головкой (вихревое нарезание) наиболее производительный метод нарезания червяков, при котором получают 8 ... 9-ю степени точности. Схема вихревого нарезания аналогична нарезанию ходовых винтов (см. рис. 13.12.). Применяют в крупносерийном и массовом производствах.

Нарезание червяков путем точения долбяком выполняют на специальных или модернизированных токарных станках (рис. 13.27). Долбяк зацепляется с червяком, вращается и перемещается в осевом направлении, обеспечивая точение винтовой поверхности как огибающий круглый резец. При $\beta = 6 - 5^\circ$ применяют прямозубые долбяки. При $\beta > 5 - 6^\circ$ применяют косозубые долбяки. Скорость резания при точении составляет $v = 18 \dots 36$ м/мин, а величина продольной подачи для червяков $m = 1 \dots 4$ мм составляет $s = 0,2 \dots 0,3$ мм/об.

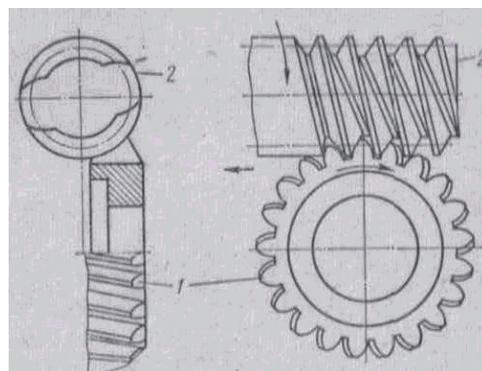


Рис. 13.27. Нарезание винтовой поверхности червяка точением обкатным долбяком

Для получения повышенной твердости 55...63 HRC₃ винтовую поверхность червяка закаливают, после чего выполняют операцию отделки. Отделку осуществляют путем шлифования на резьбошлифовальных станках с применением конических, чашечных или дисковых шлифовальных кругов (см. рис. 13.28), последние устанавливают аналогично установке дисковых модульных фрез. Для достижения высоких тре-

бований по шероховатости поверхности $R_a = 0,1 \dots 0,2$ мкм после шлифования выполняют полирование винтовой поверхности червяка.

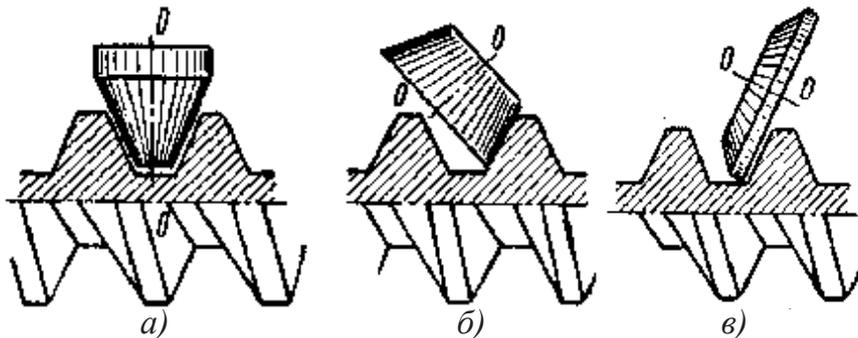


Рис. 13.28. Шлифование винтовой поверхности червяков с применением шлифовальных кругов: *а* – конических; *б* – чашечных; *в* – дисковых

Нарезание червячных колес

Перед нарезанием зубьев выполняют полную обработку колеса по всему контуру и создают технологические базы в виде торца и базового отверстия по квалитетам точности *IT 7...IT 6*.

Нарезание зубьев выполняют на зубофрезерных станках по методу обката с использованием червячных фрез. При этом в зависимости от направления подачи фрезы применяют три схемы нарезания. Нарезание с радиальной подачей (рис. 13.29, *а*) используют для предварительного нарезания. Нарезание с осевой (тангенциальной) подачей (рис. 13.29, *б*), применяют для чистового нарезания зубьев. Нарезание по комбиниро-

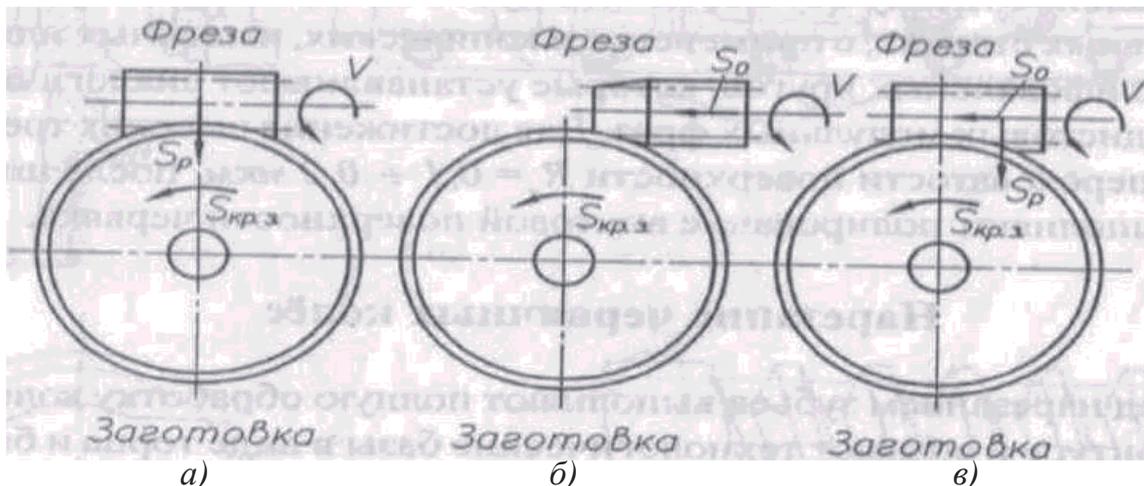


Рис. 13.29. Нарезание зубьев червячного колеса: *а* – с радиальной подачей; *б* – с осевой (тангенциальной) подачей; *в* – с комбинированной подачей

ванной схеме (рис. 13.29, *в*) предусматривает в начале обработку с радиальной подачей для снятия основного припуска, а затем с осевой подачей для чистового нарезания зубьев.

При радиальной подаче фреза должна иметь длину, несколько превышающую участок зацепления червячной пары. Скорость резания при нарезании фрезами из быстрореза составляет $v = 28 \dots 35$ м/мин, а величина радиальной подачи на оборот шестерни при $m = 2 \dots 6$ мм и числе зубьев $z = 20 \dots 120$ составляет $s_p = 0,65 \dots 1,1$ мм. При использовании твердосплавных червячных фрез скорости резания составляют $v = 110 \dots 200$ м/мин.

В зависимости от модуля червячное колесо может быть нарезано за несколько проходов. При этом предварительное нарезание можно выполнять на универсально-фрезерных станках дисковыми модульными фрезами. Припуск на толщину зуба под чистовое фрезерование принимают равным $z_n = 0,2 m$.

Фрезерование червячными фрезами обеспечивает получение колес 9...8-й степеней точности. Для повышения точности червячных колес выполняют отделку зубьев шевингованием, которое также выполняют на зубофрезерном станке с использованием в качестве режущего инструмента червячного шевера. Шевингование выполняют с радиальной подачей. Припуск на толщину зуба, оставляемый под шевингование, назначают с учетом модуля m нарезаемого колеса:

m (мм)	От 3 до 6	Св.6 до 10	Св.10 до 15	Св.15 до 20
z (мм)	0,2	0,3	0,4	0,5

В результате шевингования достигают 7...6-ю степени точности червячных колес.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите методы, применяемые для обработки наружных цилиндрических поверхностей.
2. Какие методы применяют для обработки внутренних цилиндрических поверхностей?
3. Назовите основные методы механообработки наружных плоских поверхностей.
4. Какие методы механообработки применяют для отделки главных отверстий?
5. Предложите состав и последовательность выполнения технологических переходов, обеспечивающих получение в отливке отверстия диаметром $D 40H7$.

6. Назовите методы механообработки и соответствующие режущие инструменты, применяемые для нарезания наружных резьб на валах.
7. Назовите методы механообработки и соответствующие режущие инструменты, применяемые для нарезания внутренней резьбы.
8. Назовите методы нарезания винтовых поверхностей на валах.
9. В чем заключается сущность вихревого нарезания винтовой поверхности?
10. Какие фрезы применяют для нарезания цилиндрических зубчатых колес по методу копирования?
11. Какую технологическую оснастку необходимо иметь для нарезания зубчатого венца цилиндрических колес на универсально-фрезерных станках?
12. Каким методом и с применением какого режущего инструмента можно нарезать зубья на двухвенцовом колесе при расстоянии между зубчатыми венцами 10 мм?
13. Назовите методы нарезания конических зубчатых колес.
14. Объясните сущность процесса протягивания, применяемого для нарезания конических зубчатых колес.
15. Назовите схемы базирования и поверхности, используемые в качестве технологических баз при нарезании зубчатых колес.
16. Какие методы обработки применяют для нарезания цилиндрических зубчатых колес?
17. Назовите метод обработки и режущий инструмент, применяемые для отделки незакаленных зубчатых колес.
18. Какими методами осуществляется отделка зубьев закаленных зубчатых колес?
19. Назовите методы, применяемые для нарезания зубчатых колес внутреннего зацепления.
20. Объясните сущность процесса зуботочения круглым долбяком.
21. Какую степень точности цилиндрического зубчатого колеса можно обеспечить при зубошлифовании?
22. По какому методу происходит формирование профиля зубьев колеса при шлифовании зубчатого венца абразивным червяком?
23. Назовите методы механообработки, применяемые для нарезания червяков.

24. Каким образом происходит установка резьбовых резцов при нарезании на токарно-винторезных станках червяков с архимедовой винтовой поверхностью?

25. Как устанавливают резцы при нарезании точением червяков с эвольвентной винтовой поверхностью?

26. Каким методом осуществляется отделка зубьев червячного колеса?

Заключение

Современные подходы в решении технологических задач, связанных с разработкой новых и анализом существующих технологических процессов сборки и изготовления деталей машин, основаны на широком применении основных положений теории баз и размерных цепей.

Техническое требование, определяющее достижение требуемого зазора, линейного или углового размера между деталями собираемого узла, следует формализовать как замыкающее звено соответствующей линейной или угловой размерной цепи. Выявление рассматриваемой конструкторской цепи позволяет определить детали узла, отклонения размеров которых оказывают непосредственное влияние на формирование точности по данному техническому требованию.

В свою очередь, выявление схемы базирования рассматриваемой детали и функционального назначения ее поверхностей позволяет определить ее линейные и угловые размеры, которыми деталь участвует в соответствующих конструкторских размерных цепях, определяющих решение той или иной технической задачи.

Расчет выявленной размерной цепи в номиналах, выполняемый согласно полученному уравнению, позволяет определить требуемые номинальные размеры деталей узла. А расчет размерной цепи в отклонениях, выполняемый с учетом выбираемого метода достижения точности, позволяет обосновать предельные отклонения и допуски на размеры деталей узла.

Расчет уточнений, получаемых при выполнении технологических операций, позволяет выявить состав технологических переходов и операций, необходимых для достижения требуемой точности при обработке каждой из поверхностей детали. В свою очередь, расчет припусков, выполняемый начиная с финишных операций технологического процесса, позволяет выйти на определение межпереходных и соответствующих операционных размеров, а затем и на размеры заготовки.

Технологические размерные цепи, звеньями которых являются размеры детали, операционные и межпереходные размеры, а также припуски и размеры заготовок, позволяют выявить схемы формирования параметров точности детали при выполнении соответствующего варианта технологического процесса. Рассмотрение возможных вариантов построения процессов с использованием разных схем базирования заготовок на операциях позволяет обосновать оптимальное технологическое решение, при котором обеспечивается достижение требуемой точности детали наиболее коротким путем с более высокой производительностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адаптивное управление технологическими процессами / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, С.П. Протопопов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1980. – 536 с.
2. Активный контроль размеров / С.С. Волосов, М.Л. Шлейфер, И.Я. Рюмкин [и др.] ; под ред. С.С. Волосова. – М. : Машиностроение, 1984. – 224 с.
3. *Аршинов, В.А.* Резание металлов и режущий инструмент / В.А. Аршинов, Г.А. Алексеев. – М. : Машиностроение, 1976. – 440 с.
4. ГОСТ 21495–76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 35 с.
5. *Балакшин, Б.С.* Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1969. – 559 с.
6. *Балакшин, Б.С.* Теория и практика технологии машиностроения: в 2 кн. / Б.С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1982. – Кн. 1. – 283 с; Кн. 2. – 268 с.
7. *Гусев, А.А.* Технологическая оснастка (расчет и проектирование) / А.А. Гусев, И.А. Гусева. – М. : ИЦ МГТУ «Станкин», Янус-К, – 372 с.
8. Допуски и посадки: справочник. В 2 ч. / В.Д. Мягков, М.Л. Палей, А.Б. Романов [и др.]. – Л. : Машиностроение, 1982. – Ч. 1. – 543 с; Ч. 2. – 448 с.
9. *Лахтин, Ю.М.* Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. – М. : Metallurgy, 1985. – 510 с.
10. Машиностроение. Энциклопедия, том III-3. Технология изготовления деталей машин. Редактор-составитель А.Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 2000. – 839 с.
11. Машиностроение. Энциклопедия, том III-5. Технология сборки в машиностроении. Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. (А.А. Гусев, В.В. Павлов, А.Г. Андреев и др.) – М. : Машиностроение, 2001. – 640 с.
12. Металлорежущие станки: учеб. для вузов / В.Э. Пуш, В.Г. Беляев, А.А. Гаврюшин [и др.]; под ред. В.Э. Пуш. – М. : Машиностроение, 1986 – 574 с.
13. *Митин, Г.П.* Микроконтроллеры в системах автоматизации / Г.П. Митин, О.В. Хазанова. – М. : МГТУ «Станкин», 2001. – 108 с. (Сер. «Технология оборудования и автоматизация машиностроительных производств».)

14. *Митрофанов, С.П.* Групповая технология машиностроительного производства: в 2 т. / С.П. Митрофанов. – Л. : Машиностроение, 1983. – 786 с.
15. *Мнацаканян, В.У.* Технологические основы обеспечения точности и восстановления работоспособности деталей и узлов текстильных машин: монография. / В.У. Мнацаканян. – М. : Янус-К, 2006. – 143 с.
16. *Мнацаканян, В.У.* Нарезание зубчатых колес: учеб. пособие для вузов. / В.У. Мнацаканян, А.П. Гаевой, П.Ф. Бойко. – Старый Оскол : ООО ТНТ, 2006. – 94 с.
17. *Новиков, М.П.* Основы технологии сборки машин и механизмов / М.П. Новиков. – М. : Машиностроение, 1980. – 592 с.
18. Проектирование технологии: учеб. для машиностроительных специальностей вузов / И.М. Баранчукова, А.А. Гусев, Ю.Б. Краморенко [и др.]; под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1990, – 415 с.
19. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения / под ред. Ю.М. Соломенцева. – М. : Высш. школа, 1999. – 416 с.
20. Производство зубчатых колес: справочник / С.Н. Калашников, Г.И. Коган, И.С. Козловский [и др.]; под ред. Б.А. Тайца. – М. : Машиностроение, 1975. – 728 с.
21. *Радкевич, Я.М.* Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. для вузов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М. : Высшая школа, 2007. – 791 с
22. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении / Я.М. Радкевич, В.А. Тимирязев, А.Г. Схиртладзе [и др.]; под ред. В.А. Тимирязева. – М. : Высшая школа, 2007. – 272 с.
23. *Сосонкин, В.Л.* Программное управление технологическим оборудованием: учеб. для вузов / В.Л. Сосонкин. – М. : Машиностроение, 1991. – 509 с.
24. Справочник конструктора-инструментальщика / Баранчиков В.И., Боровский Г.В., Гречишников В.А.; под общ. ред. В.И. Баранчикова. – М. : Машиностроение, 1994. – 558 с.
25. Справочник технолога машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с; Т. 2. – 496 с.
26. *Суслов, А.Г.* Технология машиностроения: учеб. для студентов машиностроительных специальностей вузов / А.Г. Суслов. – Машиностроение, 2004. – 397 с.

27. *Схиртладзе, А.Г.* Технологические процессы в машиностроении: учеб. для вузов / А.Г. Схиртладзе. – М. : Высшая школа, 2007. – 416 с.
28. Технология автомобилестроения: учеб. для вузов / А.Л. Карунин, Е.Н. Бузник, О.А. Дащенко [и др.]; под ред. О.А. Дащенко. – М. : Академический проект, 2005. – 622 с.
29. Технологичность конструкций изделий: справочник / Под ред. Ю.Д. Амирова. – М. : Машиностроение, 1985. – 368 с.
30. Технология машиностроения (специальная часть): учеб. для машиностроительных специальностей вузов / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1986. – 480 с.
31. Технология машиностроения: учеб. для вузов / Л.В. Лебедев, В.У. Мнацаканян, А.Г. Схиртладзе [и др.]. – М. : Академия, 2006 – 487 с.
32. Технология машиностроения: учеб. для вузов / под ред. А.В. Мухина, А.М. Дальского, Г.Н. Мельникова. – М. : МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – Т. 1. – 360 с; Т. 2 – 350 с.
33. *Черпаков Б.И.* Автоматизация и механизация производства / Б.И. Черпаков. – М. : Академия, 2004 – 375 с.
34. *Шемелин В.К.* Управление системами и процессами: учеб. для вузов / В.К. Шемелин, О.В. Хазанова. – Старый Оскол: ООО ТНТ, 2007. – 320 с.
35. *Шишмарев В.Ю.* Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. для вузов / В.Ю. Шишмарев. – М. : Академия, 2007 – 364 с.

Учебное издание

МНАЦАКАНЯН Виктория Умедовна
МОРОЗОВ Валентин Васильевич
СХИРТЛАДЗЕ Александр Григорьевич
и др.

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО
ПРОИЗВОДСТВА

Учебник
Часть 2

Подписано в печать 25.03.11.
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 21,15. Тираж 500 экз.
Заказ
Издательство
Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.