

М.З. Лавриненко

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

*Допущено Министерством высшего и среднего
специального образования УССР
в качестве учебника для студентов вузов,
обучающихся по специальности
«Автоматизация и комплексная механизация
машиностроения»*

КИЕВ
ГОЛОВНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ
«ВИЩА ШКОЛА»
1982

ББК 34.5я73
6П5.4
Л13

УДК 621(075.8)

Технология машиностроения и технологические основы автоматизации. Лавриненко М. З. — Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982. — 320 с.

В учебнике изложены основные сведения по технологии машиностроения и технологическим основам автоматизации с учетом достижений отечественной науки и промышленности. Большое внимание уделено вопросам точности и качеству изготовления в условиях автоматизированного производства, обеспечивающих надежность работы деталей машин. Рассмотрены основные данные по разработке производительных технологических процессов механической и других видов обработки деталей и сборки из них изделий машиностроения. Изложены материалы по конструированию приспособлений, автоматизации технологических процессов механической обработки деталей. Приведены основные положения по проектированию технологических процессов с использованием ЭВМ.

Для студентов специальности «Автоматизация и комплексная механизация машиностроения» машиностроительных и приборостроительных институтов и факультетов.

Табл. 8 Ил. 209, Библиогр.: 35 назв.

Рецензенты: д-р техн. наук проф. *А. П. Гавриш*, канд. техн. наук доц. *Р. В. Юревич*

Редакция литературы по машиностроению и приборостроению

Зав. редакцией *О. А. Добровольский*

Михаил Захарович Лавриненко

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Редакторы *И. В. Бурмистенко, А. И. Калиновский*
Переплет художника *А. Д. Толошного*
Художественный редактор *С. В. Анненков*
Технический редактор *Л. Ф. Волкова*
Корректор *О. А. Савицкая*

Информ. бланк № 6197

Сдано в набор 30.09.81. Подп. в печать 19.04.82. БФ 02651. Формат 60×90^{1/16}. Бумага типогр. № 1 Лит. гарн. Бис. печать. 20 печ. л. 20 кр.-отт. 23,11 уч.-изд. л Тираж 6000 экз. Изд. № 5255. Зак. № 1—2818. Цена 1 р.

Головное издательство издательского объединения «Вища школа», 252054, Киев-54, ул. Гоголевская, 7.

Головное предприятие республиканского производственного объединения «Поліграфкнига», 252057, г. Киев, Довженко, 3.

«Соединение науки с производством, воздействие на него прогрессивных идей практически идет через машины и технологию. Отсюда — ни с чем не сравнимая роль машиностроения в развитии народного хозяйства, в подъеме производительности труда». Эти слова, произнесенные Л. И. Брежневым на октябрьском (1980 г.) Пленуме ЦК КПСС, и решение XXVI съезда КПСС об увеличении выпуска продукции машиностроения и металлообработки не менее чем в 1,4 раза, а также о повышении точности металлорежущих станков не менее чем на 20—30% определили задачи перед машиностроением как отраслью народного хозяйства, обеспечивающей дальнейший рост других отраслей и всего научно-технического прогресса страны в целом.

Итогом деятельности высшей школы за последние годы и перспективой ее развития явилось Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 12 июля 1979 года «О дальнейшем развитии высшей школы и повышении качества подготовки специалистов», в котором указывается, что в условиях развитого социализма высшая школа призвана оказывать более активное влияние на ускорение научно-технического прогресса, рост культуры народа, умножение духовных богатств общества. Главное внимание высшей школы должно быть сосредоточено на всестороннем улучшении качества профессиональной подготовки и идейно-политического воспитания специалистов, укреплении связи с производством, практикой коммунистического строительства. Достижение новых рубежей в народном хозяйстве возможно, главным образом, за счет повышения эффективности общественного производства, его дальнейшей механизации и автоматизации.

Предлагаемый учебник составлен в соответствии с учебной программой курса «Технология машиностроения и технологические основы автоматизации» для специальности 0636 (автоматизация и комплексная механизация машиностроения).

Учебник состоит из пяти разделов и охватывает основные вопросы технологии машиностроения и технологических основ его автоматизации в объеме выделенных учебным планом часов для специальности 0636. Вопросам обеспечения точности и качества в условиях автоматизированного производства деталей машин уделено больше внимания, поскольку с этими характеристиками тесно связаны как экономические, так и эксплуатационные показатели машин. Учебным планом специальности 0636 не предусмотрен специальный курс по расчету

и конструированию станочных приспособлений, поэтому в настоящий учебник включена специальная глава «Основы конструирования приспособлений», в которой нашли отражение вопросы, предусмотренные программой курса «Технология машиностроения и технологические основы автоматизации».

Изложение программного материала в учебнике построено с таким расчетом, чтобы студенты могли вначале ознакомиться и изучить общие основы технологии машиностроения, а потом перейти к изучению особенностей технологии обработки типовых деталей машин.

В учебнике содержатся методические указания по проектированию технологических процессов автоматизированного производства и технологическим основам автоматизации наиболее трудоемких операций механо-сборочного производства.

В заключительной главе учебника рассматриваются основные направления и перспективы развития автоматизации по видам машиностроительных производств.

Предлагаемый учебник предназначен для студентов машиностроительных, приборостроительных институтов и факультетов, может быть использован при выполнении студентами курсовых и дипломных проектов.

Учебник является обобщением опыта преподавания технологических дисциплин и одноименного курса на кафедре технологии машиностроения Севастопольского приборостроительного института.

Автор считает своим долгом выразить благодарность коллективам кафедр технологии машиностроения и автоматизации и комплексной механизации Севастопольского приборостроительного института за ряд ценных замечаний, сделанных при просмотре рукописи, и сказанную помощь при ее оформлении, и рецензентам: кафедре автоматизации технологических процессов в машиностроении Киевского политехнического института, возглавляемой д-ром техн. наук профессором Гавришем А. П.; д-ру техн. наук профессору Иванову Ю. М., заведующему кафедрой технологии машиностроения Львовского политехнического института; кандидату техн. наук доценту Юревичу Р. В. (кафедра автоматизации и комплексной механизации машиностроительной промышленности Львовского политехнического института) за ценные советы, направленные на улучшение содержания учебника.

Автор выражает благодарность сотрудникам кафедры технологии машиностроения Запорожского машиностроительного института — базовой кафедры по машиностроению Минвуза УССР — за внимательный просмотр рукописи и высказанные замечания, которые в основном учтены при ее переработке.

Любая отрасль народного хозяйства, производя определенную работу по добыче, переработке или изготовлению необходимой продукции, не может обойтись без машин, механизмов, приборов, т. е. без продукции машиностроения.

КПСС и Советское правительство на всех этапах индустриализации страны и социалистического строительства уделяли особое внимание развитию отечественного машиностроения, темпы роста которого всегда были выше темпов роста промышленности в целом.

Профессор Б. С. Балакшин назвал машиностроение главным технологическим звеном народного хозяйства, так как именно машиностроение создает и поставляет в необходимых народному хозяйству количествах орудия производства и машины, отвечающие своему служебному назначению при наименьшей себестоимости.

Отрасль науки, занимающаяся изучением закономерностей, действующих в процессе изготовления машин, с целью использования этих закономерностей для обеспечения требуемого качества машин и наименьшей их себестоимости, называется технологией машиностроения.

Технология машиностроения является прикладной наукой и ее развитию и становлению как научной дисциплины предшествовал непрерывный прогресс машиностроения на протяжении двух последних столетий.

Слово «технология» заимствовано из греческого языка (techne — искусство, мастерство; logos — учение, наука) и в переводе означает — наука о мастерстве или учение о ремесленном искусстве.

В современном понятии технология — это совокупность процессов обработки или переработки того или иного материала (технология металлов, технология резины, пластмасс и т. д.). Технология машиностроения — наука о процессах изготовления деталей и сборки из деталей машин и механизмов.

XVIII век для отечественного машиностроения был веком гениальных открытий и изобретений, среди которых наиболее важными являются созданные М. В. Ломоносовым лоботокарный, сферотокарный и шлифовальный станки; И. И. Ползуновым — цилиндрорасточные станки; И. П. Кулибиным — станки для обработки зубчатых колес часовых механизмов; А. К. Нартовым — токарные с механическим суппортом, винторезные и зуборезные.

Возникновению технологии машиностроения как научной дисциплины способствовал быстрый рост отечественного машиностроения в двадцатых и последующих годах девятнадцатого столетия. Советские ученые, инженеры и новаторы, используя выдающиеся труды русских ученых П. Л. Чебышева, И. А. Вышнеградского, А. М. Ляпунова, И. А. Тиме, А. П. Гавриленко и советских ученых-технологов А. П. Соколовского, Н. А. Бородачева, В. М. Кована, А. И. Каширина, Б. С. Балакшина, М. Е. Егорова, Э. А. Сателя, А. А. Маталина, М. П. Новикова, В. С. Корсакова, С. А. Картавова и других, создали условия для развития технологии машиностроения как науки для установления определенных закономерностей в производительности и экономичности технологических процессов механической обработки деталей и сборки машин и механизмов.

Вместе с тем в технологии машиностроения используются основные положения, теоретические и практические выводы связанных с ней смежных дисциплин: резание металлов, металлорежущие станки, режущий инструмент, основы взаимозаменяемости, допуски и технические измерения и др.

Основной задачей при изучении курса технологии машиностроения является теоретическое изучение технологических процессов и основных правил их проектирования и осуществления, а также получение определенных практических навыков.

Безусловно, принципы проектирования технологических процессов являются общими для широкого круга машиностроителей, однако задача подготовки специалиста-технолога в нужном направлении значительно облегчается, если изучение курса технологии машиностроения будет проходить на примерах конкретных деталей машин той или иной отрасли машиностроения, где работает или будет работать специалист. Вот почему появились различные отраслевые дисциплины, такие как технология станкостроения, приборостроения, автотракторостроения, котлостроения, судостроения и т. д.

XXVI съезд КПСС в своих решениях определил пути дальнейшего развития машиностроения на ближайшие десять лет, которые заключаются в следующем:

1. Освоить серийное производство новых конструкций машин, оборудования, средств автоматизации и приборов, позволяющих использовать в широких масштабах высокопроизводительные, энерго- и материалосберегающие технологии во всех отраслях народного хозяйства.

2. Повысить технический уровень и качество продукции машиностроения, значительно поднять экономичность и производительность техники, ее долговечность и надежность за счет ускоренного развития производства средств автоматизации управления машинами и оборудованием с использованием комплектных электроприводов с тиристорными преобразователями и микропроцессорами, гидро- и пневмооборудования.

3. Увеличить производство систем машин и оборудования, особенно автоматических манипуляторов с программным управлением, позволяющих исключить применение ручного труда на малоквалифици-

рованных и монотонных работах, в тяжелых и вредных для человека условиях.

4. Обеспечить глубокую внутриотраслевую и межотраслевую унификацию деталей, узлов и технологических процессов, значительно расширить специализацию машиностроительного производства.

5. Улучшить структуру парка металлообрабатывающего оборудования за счет сокращения выпуска универсальных станков и машин и увеличения выпуска высокопроизводительных специализированных и агрегатных станков, автоматических линий и комплексов.

6. Повысить производительность металлорежущих станков, кузнечно-прессовых машин, литейного и деревообрабатывающего оборудования в 1,3—1,6 раза с одновременным повышением точности металлорежущих станков на 20—30%.

7. Увеличить выпуск металлообрабатывающих станков с числовым программным управлением, особенно многооперационных станков с автоматической сменой инструментов, автоматических и быстропереналаживаемых линий, оборудования для автоматизации сборки массовых изделий.

8. Организовать массовое производство инструментов с применением износостойких покрытий, безвольфрамовых твердых сплавов, синтетических алмазов и других сверхтвердых материалов.

9. Дальнейшее совершенствование и внедрение автоматизированной разработки технологических процессов и оптимальных вариантов проектирования деталей осуществлять на базе использования электронно-вычислительных машин.

В целях сокращения расхода металла на единицу продукции и повышения коэффициента его использования необходимо дальнейшее совершенствование конструкций машин, применение металла повышенной прочности, фасонных профилей, проката повышенной точности, конструкционных пластмасс, внедрение безокислительного нагрева, деталепрокатных станов, позволяющих получать заготовки с минимальными припусками на обработку, а также замена технологических процессов, основанных на резании металла, экономичными методами формообразования деталей.

Повышение износостойкости и долговечности деталей машин должно обеспечиваться не за счет применения высоколегированных сталей, а, главным образом, за счет широкого применения упрочняющей технологии.

Решить поставленные перед машиностроением задачи можно только при условии автоматизации производственных процессов в целом и особенно в области металлообработки.

Автоматизация в машиностроении — это не кампания на определенном отрезке времени, а основная и устойчивая тенденция развития материально-технической базы производства и важный этап научно-технического прогресса.

Роль автоматизации в области интенсификации технологических процессов и снижении себестоимости изготовления продукции машино-

строения очень большая и с этой ролью она может справиться только на основе широкого использования новейших достижений науки и техники, применения прогрессивной технологии и использования передового производственного опыта.

На этапе построения развитого социалистического общества автоматизация является средством повышения эффективности общественного производства, что, естественно, приводит к повышению материального и культурного уровня народа, т. е. к практическому решению задач, поставленных XXVI съездом КПСС.

Раздел 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Глава 1

ИЗДЕЛИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС В МАШИНОСТРОЕНИИ

1.1. Изделие и его элементы

Изделием называется продукт конечной стадии машиностроительного производства. В зависимости от того, что является объектом данного производства, изделием может быть собранная машина, узел и даже деталь. Например, изделием судостроительного завода является корабль, завода горношахтного оборудования — горный комбайн или шахтная вагонетка, а литейного завода — отливки колес к этим же вагонеткам.

Деталью принято называть первичный элемент изделия. Характерным признаком детали является отсутствие в ней разъемных соединений.

Узлом называется разъемное или неразъемное соединение составных частей изделий.

С технологической точки зрения характерным признаком узла является возможность его сборки отдельно от других элементов изделия. Составляющими элементами узла могут быть либо отдельные детали, либо подузлы и детали. В зависимости от конструкции изделия подузлы могут быть первого, второго, третьего и высших порядков. Подузел первого порядка входит непосредственно в состав узла. Он состоит либо из отдельных деталей, либо из подузлов второго порядка (или одного подузла) и деталей. Подузел второго порядка входит в состав подузла первого порядка и расчленяется на подузел (или подузлы) третьего порядка и детали и т. д. Подузел наивысшего порядка расчленяется только на детали. Иногда узлы и подузлы называют группами и подгруппами.

Рассмотренное деление изделия на составные части производится по технологическому признаку. Существует еще деление изделия на узлы (или подузлы) по функциональному признаку. Примером такого деления может служить система смазки, охлаждения, вентиляции и т. д. Эти узлы не являются сборочными, так как зачастую их нельзя собрать отдельно от других элементов изделия.

Окончательной операцией в технологическом процессе изготовления машины является сборка. В современном машиностроении сборка расчленяется на общую и узловую. При этом объектом общей сборки является машина, а узловой — узлы и подузлы. Для наглядности процессы общей и узловой сборки представляют в виде так называемых технологических схем (рис. 1), отражающих структуру и последовательность комплектования изделий и узлов [24].

2. Каждый элемент изделия обозначается прямоугольником, разделенным на три части. В верхней части прямоугольника указывается наименование элемента. В левой нижней части указывается индекс элемента. В правой нижней части указывается количество элементов, входящих в данное соединение.

3. Перед числовым индексом узла ставят буквы сб. (сборка), перед индексом подузла первого порядка — 1 сб., перед индексом подузла второго порядка — 2 сб. и т. д. Индексы элементов и их количество берутся из спецификации.

4. Над линией в направлении от базового элемента к собираемому объекту условно изображаются в порядке последовательности сборки все непосредственно входящие в него детали; а под линией — все узлы, непосредственно входящие в машину. Узлы, в свою очередь, на технологических схемах узловых сборки расчленяются на подузлы и детали.

5. В тех случаях, когда характер сборочных соединений или контроля не ясен из чертежа, необходимо на технологической схеме сборки сделать соответствующие надписи (например, запрессовать, клепка, сварка, пайка, выверка и т. д.).

Технологические схемы сборки дают возможность упростить проектирование процессов сборки, в выполнение процессов сборки вносить определенную стройность и последовательность, оценить конструкцию с технологической точки зрения, при определенных условиях сократить длительность процессов сборки и обнаружить наличие конструктивных неувязок.

1.2. Виды изделий машиностроительных предприятий

ГОСТ 2.101—68 устанавливает виды изделий всех отраслей промышленности при выполнении конструкторской документации.

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Изделия в зависимости от назначения делят на изделия основного производства и изделия вспомогательного производства.

К изделиям основного производства следует отнести изделия, предназначенные для поставки (реализации).

К изделиям вспомогательного производства следует относить изделия, предназначенные только для собственных нужд предприятия, изготавливающего их.

Изделия, предназначенные для поставки (реализации) и одновременно используемые предприятием для собственных нужд, следует относить к изделиям основного производства.

Установлены следующие виды изделий: детали; сборочные единицы; комплексы; комплекты.

Изделия, в зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей, делят на:

неспецифицированные (детали) — не имеющие составных частей; специфицированные (сборочные единицы, комплексы, комплекты) — состоящие из двух и более составных частей.

Понятие «составная часть» следует применять только в отношении конкретного изделия, в состав которого она входит. Составной частью может быть любое изделие (деталь, сборочная единица, комплекс, комплект).

Деталью называется изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций.

Например, валик из одного куска металла, литой корпус, пластина из биметаллического листа, маховичок из пластмассы (без арматуры), отрезок кабеля или провода заданной длины. Эти изделия, подвергнутые защитным или декоративным покрытиям независимо от вида, толщины и назначения покрытия или изготовленные с применением местной сварки, пайки, склейки, сшивки и т. п., также относятся к деталям. Например, винт, покрытый слоем хрома, т. е. хромированный; трубка, спаянная или сваренная из одного куска листового материала; коробка, склеенная из одного куска картона.

Сборочной единицей называется изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, опрессовкой, развальцовкой, склеиванием, сшивкой, укладкой и т. п.). Например, автомобиль, станок, редуктор, телефонный аппарат, сварной корпус, маховичок из пластмассы с металлической арматурой.

К сборочным единицам относятся также изделия, для которых конструкцией предусмотрена разборка на составные части заводом-изготовителем, например, для удобства упаковки и транспортирования; совокупность сборочных единиц и деталей, имеющих общее функциональное назначение и совместно устанавливаемых на предприятии-изготовителе в другой сборочной единице, например, электрооборудование станка, автомобиля и т. д.; комплект составных частей врезного замка (замок, запорная планка, ключи), а также совокупность сборочных единиц (или деталей), имеющих общее функциональное назначение и совместно уложенных на предприятии в укладочные средства (футляр, коробку и т. д.), которые предусмотрено использовать вместе с уложенными в них изделиями, например, готовальня, комплект концевых плоско-параллельных мер длины.

Комплекс — это два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Каждое из этих специфицированных изделий, входящих в комплекс, служит для выполнения одной или нескольких основных функций, установленных для всего комплекса, например, цех-автомат, АТС, роторный экскаватор и т. п.

В комплекс, кроме изделий, выполняющих основные функции, могут входить детали, сборочные единицы и комплекты, предназначенные для монтажа комплекса на месте его эксплуатации; комплект запасных частей, укладочных средств, тары и др.

Комплект — это два и более изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющие набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомога-

ного характера, например, комплект запчастей, комплект измерительной аппаратуры, упаковочной тары и т. д.

К покупным относятся изделия, не изготавливаемые на данном предприятии, а получаемые им в готовом виде, кроме получаемых в порядке кооперирования.

1.3. Основное понятие о производственном и технологическом процессах в машиностроении

Для изготовления машин, отвечающих своему служебному назначению и техническим требованиям, в заводских условиях необходимо выполнить целый комплекс работ, связанных с получением заготовок на каждую сконструированную деталь, антикоррозийным покрытием их, обработкой этих заготовок, сборкой из готовых деталей узлов, а из узлов и отдельных деталей готовых машин, испытанием их и окраской.

Выполнение перечисленных работ на современных заводах невозможно без затрат времени на получение со склада материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий, транспортирование их на рабочие места, без контрольных и других работ, зависящих от уровня организации производства.

Весь комплекс этих работ охватывается одним понятием производственного процесса.

Производственный процесс — это совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых на данном предприятии для изготовления или ремонта выпускаемых изделий.

Технологический процесс — это часть производственного процесса, содержащий действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства.

На машиностроительных заводах технологический процесс включает в себя следующие виды работ: изготовление заготовок, антикоррозийное покрытие их, обработку деталей согласно технологическому процессу, контроль, сборку, испытание, окраску машин.

Технологический процесс выполняется на рабочих местах, под которыми понимается участок производственной площади, оборудованный в соответствии с выполняемой на нем работой.

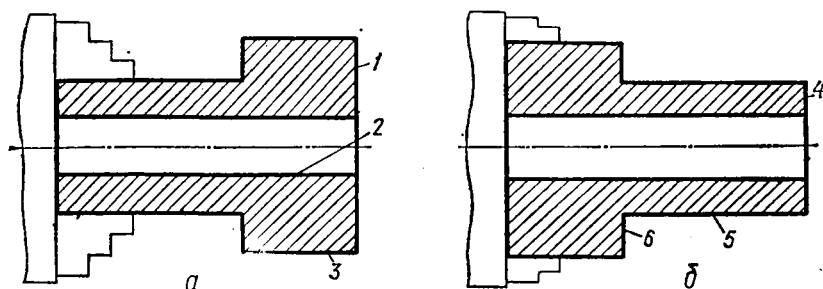


Рис. 2. Схема установки втулки для обработки в патроне токарного станка

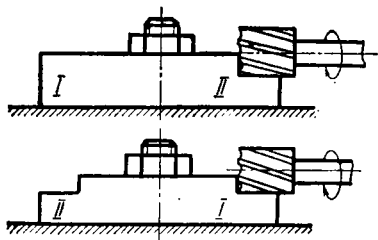


Рис. 3. Схема фрезерования плиты

Каждый технологический процесс расчленяется на операции.

Технологической операцией называется часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте и охватывающая все действия оборудования и рабочих над одним или несколькими совместно обрабатываемыми или собираемыми предметами.

Операция является основной составной частью технологического процесса. Операция может состоять из одной или нескольких установок.

Установка — это часть операции, выполняемая при неизменном положении детали относительно станка или приспособления и неизменном ее креплении.

Установка объединяет в себе все действия рабочего по подъему, установке, выверке и креплению детали, а также работы, выполняемые станком и инструментом без перестановки детали.

Каждая установка может рассматриваться как отдельная операция в том случае, если вся партия поданных к станку деталей вначале обрабатывается на одной установке, а затем — на другой. Например, требуется произвести токарную обработку втулки на универсальном токарном станке (рис. 2). Обработку можно произвести в двух вариантах:

1. Одна операция за две установки, т. е. сначала обрабатываются поверхности 1, 2, 3. После обработки заготовка раскрепляется, переворачивается, базируется по поверхностям 1 и 3. Закрепляется и обрабатывается по поверхностям 4, 5, 6.

2. Токарная обработка расчленяется на две операции. Сначала все детали партии обрабатываются по поверхностям 1, 2, 3, снимаются со станка (первая операция), затем обрабатываются все детали партии по поверхностям 4, 5, 6 (вторая операция). Первый вариант характерен для единичного производства, а второй для серийного.

Позицией называется часть операции, выполняемая без изменения положения детали, закрепленной в приспособлении или зажимном устройстве. Например, фрезерование уступов в плите (рис. 3). Обработка двухпозиционная осуществляется за счет поворота стола без перестановки детали с откреплением ее.

Переходом называется часть операции, осуществляемая одним и тем же режущим инструментом (или несколькими одновременно работающими инструментами) без изменения режима резания при обработке одной и той же поверхности. Например, обработка отверстия в крышке редуктора может осуществляться в три перехода: сверление, растачивание; растачивание выточки.

Проход — часть перехода, при котором снимается один слой материала. При этом все проходы, если их несколько, осуществляются без изменения режима работы станка, режущего инструмента и обрабатываемой поверхности.

Следующим более мелким элементом операции является рабочий прием. Он представляет собой законченное, имеющее конкретное целевое назначение действие рабочего, необходимое для выполнения данной операции.

Элементом приема или движением называется наименьшая часть технологического процесса, поддающаяся наблюдению с помощью кино съемки. Целью ее является изучение движений и на основании этого рационализирование их, а также точное установление длительности приемов при нормировании работ в крупносерийном и массовом производстве.

При составлении технологической документации операциям и переходам присваиваются соответствующие номера, т. е. они нумеруются.

Операции нумеруются в возрастающем порядке и обозначаются арабскими цифрами в пределах технологического процесса на каждую деталь.

Переходы в таком порядке нумеруются арабскими цифрами для каждой операции самостоятельно, начиная с первого номера.

Установки обозначаются буквами русского алфавита для каждой операции самостоятельно, начиная с первой буквы. Проходы никакими знаками в технологической документации не обозначаются, но указывается их количество для каждой операции. Операция формулируется кратко в зависимости от вида обработки, например, токарная, шлифовальная и т. д. Переходы, наоборот, излагаются подробно. Номер размера обрабатываемой поверхности проставляют в окружности диаметром 6—8 мм и соединяют с размерной линией. При этом размеры и предельные отклонения обрабатываемой поверхности в содержании перехода (операции) не указываются, например: «развернуть отверстие ①», «расточить отверстие ③», «фрезеровать поверхность, выдерживая размер ②». Нумерацию следует производить по направлению движения часовой стрелки.

Для ясного представления и точного выполнения плана и способа обработки технологический процесс иллюстрируется чертежами обработки, на которых указываются обрабатываемая поверхность, положение детали на станке или в приспособлении, положение инструмента в конце обработки и поверхности закрепления. Такое графическое изображение операции или перехода носит название технологической наладки.

1.4. Классификация работ в машиностроительном производстве и технически обоснованная норма времени

Все работы, выполненные в машиностроительном производстве, классифицируются по следующим трем видам: основная работа, вспомогательная и подготовительно-заключительная.

Основная работа — это работа, которая направлена на изменение формы, размеров, состояния или положения данного предмета труда (изделия, материала), если это изменение является целью данного производственного (или технологического) процесса.

На металлорежущих станках основной работой является резание, а на ковочно-штамповочных молотах — прошивание центрального отверстия в заготовке зубчатого колеса.

Вспомогательная работа — это работа, которая необходима для выполнения данного технологического процесса, но не вызывает в предмете труда изменений, являющихся целью технологического процесса.

При станочных работах к вспомогательной относятся постановка детали на станок, выверка, крепление, освобождение и снятие детали, а также перестановка детали, включение и выключение станка, изменение скоростей, подач, установка и снятие инструмента. Основная и вспомогательные работы повторяются регулярно при каждой операции, над каждым изделием.

Время на основную и вспомогательные работы называется оперативным временем.

Подготовительно-заключительная работа разделяется на подготовительную и заключительную.

К *подготовительной работе* относится: получение наряда, чертежа, инструкции, получение заготовки или материала, приспособлений, инструмента, ознакомление с чертежами, наладка станка и т. п.

Заключительная работа — это работа, которая должна быть выполнена по окончании обработки детали или партии деталей. К ней относится сдача работы, снятие со станка, сдача инструментов и приспособлений, уборка станка и т. д.

Подготовительно-заключительная работа выполняется один раз на всю партию деталей.

В зависимости от степени участия человека и приложения его мускульной силы к выполняемым в процессе производства работам последние могут быть подразделены на три категории:

Первая категория — ручная работа, охватывающая обычные ручные и ручные механизированные операции.

К ручным следует относить те операции, которые выполняются рабочим полностью вручную или с помощью ручных орудий труда, без применения каких-либо источников энергии.

К ручным механизированным относятся операции, выполняемые рабочим с помощью того или иного механизированного инструмента, с использованием какого-либо источника энергии (например, сверление отверстия электродрелью).

Вторая категория — машинно-ручная работа, охватывающая машинно-ручные операции, т. е. такие операции, которые выполняются одновременно станком, совершающим главное рабочее движение, и рабочим, непосредственно участвующим в управлении инструментом (например, обработка на станках с ручной подачей).

Третья категория — машинная работа, которая охватывает машинные и автоматизированные операции. При выполнении первых операций основная работа осуществляется машиной, а вспомогательная — вручную (снятие и установка обрабатываемых деталей, измерение обрабатываемых поверхностей).

У автоматизированных операций элементы основной работы пол-

ностью автоматизированы. Рабочий в данном случае ведет только наблюдение за правильностью и стабильностью настройки машины и пополнением ее загрузочных устройств.

К третьей категории работ ближе всего примыкают так называемые аппаратные операции, осуществляемые в специальных аппаратах (печах, ваннах) путем воздействия на предмет труда тепловой, электрической или химической энергии. В функции рабочего входит только наблюдение за работой аппаратов и регулировкой хода протекающих в них процессов.

Технически обоснованной нормой времени называют время, необходимое для выполнения технологической операции в определенных организационно-технических условиях, наиболее благоприятных для данного производства. При установлении прогрессивной технички обоснованной нормы времени в первую очередь берутся во внимание эксплуатационные возможности оборудования, инструмента и других средств производства при условии применения методов работы, соответствующих современным достижениям производственной техники и с учетом опыта работы новаторов.

Технически обоснованная норма времени является основанием для расчета расценки на изготовление, определения производительности оборудования и установления годовых и месячных программ цехам, а также промышленно-финансового плана завода.

Техническая норма выработки — это величина, обратная норме времени. Выражается она обычно количеством изделий в единицу времени. Например, в смену

$$N_c = \frac{t_{см}}{t_{шт}}, \quad (1)$$

где $t_{см}$ — продолжительность смены; $t_{шт}$ — штучное время на изготовление одного изделия.

В машиностроении в настоящий момент существуют три основных метода технического нормирования: 1) метод технического расчета норм времени по нормативам (расчетно-аналитический); 2) метод расчета норм времени на основе изучения затрат рабочего времени наблюдением непосредственно в производственных условиях; 3) метод сравнения и расчета по укрупненным типовым нормам.

При первом методе норму времени устанавливают в результате анализа последовательности и содержания действий рабочего и машины-орудия при наивыгоднейшем использовании ее эксплуатационных свойств.

Второй метод имеет особое значение для изучения и обобщения передовых методов труда и разработки нормативов, необходимых для установления технички обоснованных норм расчетным путем.

Третий метод применяется преимущественно в мелкосерийном и единичном производстве.

Изучение рабочего времени наблюдением непосредственно на рабочем месте производится с помощью хронометража, фотографии рабочего дня и фотографии рабочего процесса.

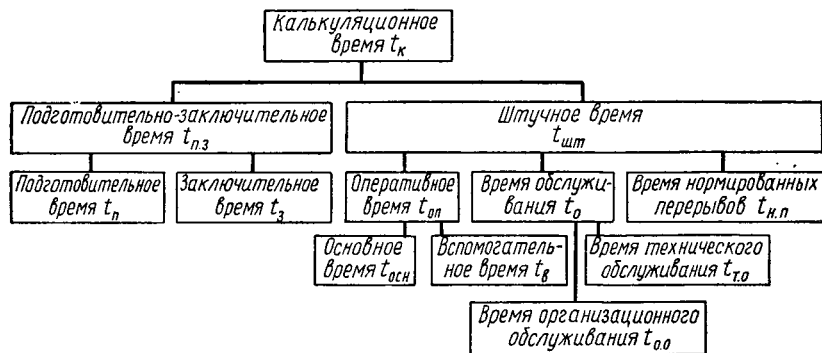


Рис. 4. Схема состава калькуляционного времени

Главной задачей хронометража является изучение и нормирование элементов ручного времени — вспомогательного и основного.

Фотография рабочего дня не преследует цели установления норм оперативного времени. Главной задачей ее является изучение общей структуры баланса рабочего времени в течение нескольких смен, исследование потерь рабочего времени, установление норм подготовительно-заключительного времени и времени обслуживания рабочего места.

Фотография рабочего процесса или фотохронометраж подвергает изучению все элементы рабочего времени. Проводится, как правило, однократным наблюдением какого-либо рабочего процесса. Служит обоснованием норм времени в единичном и мелкосерийном производстве.

Техническая норма времени и норма выработки устанавливаются на каждую операцию.

Расчет себестоимости детали, годовых и месячных программ для станочных участков производится по так называемому калькуляционному времени, состоящему из подготовительно-заключительного и штучного времени.

Схематически состав калькуляционного времени изображен на рис. 4.

В состав подготовительно-заключительного времени входят: 1) время на ознакомление рабочего с работой, технической документацией и инструктаж; 2) время на подготовку рабочего места, наладку оборудования, приспособления, инструмента; 3) время на снятие приспособления и инструмента по окончании обработки всей партии деталей.

Другие виды подготовительных работ (получение наряда, чертежа, инструмента, материала, заготовок) в норму времени не включаются, так как эти работы должны быть выполнены до начала операции, т. е. в начале смены.

Подготовительно-заключительное время затрачивается один раз на всю партию деталей.

Штучное время при изготовлении партии деталей затрачивается столько раз, сколько штук деталей входит в состав партии.

Основное время — время, связанное с выполнением основной работы.

Вспомогательное время — это время выполнения вспомогательной работы.

Ко времени технического обслуживания рабочего места относится время, затраченное на регулировку и подналадку станка в процессе работы, замену затупленного инструмента, доводку резца оселком без снятия его, правку шлифовального круга, сметание стружки со станка в процессе работы.

Ко времени организационного обслуживания относится время, затраченное на работы, обычно выполняемые в начале и конце смены: осмотр и опробование оборудования, раскладка и уборка инструмента, чистка и смазка станка.

При техническом нормировании подробному расчету подлежат только $t_{\text{осн}}$ и $t_{\text{всп}}$ (неперекрываемое $t_{\text{осн}}$). Остальные элементы штучного времени берутся упрощенно в процентах от оперативного времени (в каждом отдельном случае уточняется по нормативным справочникам).

Ориентировочные данные следующие:

а) для мелкосерийного производства:

$$t_{\text{o.o}} + t_{\text{т.о}} + t_{\text{н.п}} = (4 \div 12\%) t_{\text{оп}}; \quad (2)$$

б) для крупносерийного и массового производства:

$$t_{\text{т.о}} = (1 \div 4,5\%) t_{\text{осн}}, \text{ а } t_{\text{o.o}} + t_{\text{н.п}} = (4 \div 6\%) t_{\text{оп}}. \quad (3)$$

Калькуляционное время на серию деталей, состоящую из n штук,

$$t_{\text{к}} = t_{\text{п.з}} + t_{\text{шт}} \cdot n, \quad (4)$$

а на одну деталь

$$t_{\text{кл}} = \frac{t_{\text{п.з}}}{n} + t_{\text{шт}}. \quad (5)$$

При массовом изготовлении деталей $\frac{t_{\text{п.з}}}{n}$ незначительно по сравнению с $t_{\text{шт}}$, поэтому калькуляционное время считают равным штучному. Штучное время определяется по формуле:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{осн}} + t_{\text{в}} + t_{\text{о}} + t_{\text{н.п}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{о}} + t_{\text{н.п}}. \quad (6)$$

При нормировании работ в единичном и серийном производстве развернутая формула штучного времени имеет вид:

$$t_{\text{шт}} = (t_{\text{осн}} + T_{\text{в}}) \left(1 + \frac{z}{100} \right) = t_{\text{оп}} \left(1 + \frac{z}{100} \right), \quad (7)$$

где z — сумма времени на обслуживание и нормирование перерыва в работе в процентах от оперативного времени

$$z = \frac{t_{\text{о}} + t_{\text{o.o}} + t_{\text{н.п}}}{t_{\text{оп}}} \cdot 100\%. \quad (8)$$

При нормировании в крупносерийном и массовом производстве развернутая формула штучного времени будет иметь вид:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{осн}} \left(1 + \frac{z_1}{100} \right) + t_{\text{оп}} \left(1 + \frac{z_2 + z_3}{100} \right), \quad (9)$$

где z_1 — время технического обслуживания рабочего места в процентах к $t_{\text{осн}}$;

z_2 — время организационного обслуживания рабочего места в процентах к $t_{\text{оп}}$;

z_3 — время нормированных перерывов $t_{\text{н.п}}$ в процентах к $t_{\text{оп}}$.

Величины z , z_1 , z_2 , z_3 приводятся в разработанных нормативах машиностроения.

1.5. Типы машиностроительных производств и методы работы

Тип производства характеризуется коэффициентом закрепления операций $k_{\text{з.о}}$. Коэффициент закрепления операций определяется из отношения:

$$k_{\text{з.о}} = \frac{O}{P}, \quad (10)$$

где O — число различных операций;

P — число рабочих мест, на которых выполняются различные операции, и принимается обычно для планового периода, равного одному месяцу.

Если $1 = k_{\text{з.о}} < 10$, то производство считается массовым или крупносерийным; если $10 < k_{\text{з.о}} < 20$ — серийным; если $20 < k_{\text{з.о}} < 40$ — мелкосерийным и, если $k_{\text{з.о}}$ не регламентируется, то производство считается единичным.

В массовом производстве детали изготавливаются непрерывно в относительно больших количествах и в течение продолжительного времени. Например, детали автотракторных двигателей, оси и колеса железнодорожных вагонов и др.

Характерным признаком массового производства является не количество изделий, а выполнение на большинстве рабочих мест одной, закрепленной за ними, постоянно повторяющейся операции.

В серийном производстве характерным признаком является выполнение на одном рабочем месте нескольких периодически повторяющихся операций. Продукция серийного производства: насосы, компрессоры, металлорежущие станки и т. п., выпускаемые в значительных количествах сериями или партиями, регулярно повторяющимися через определенные промежутки времени.

Серийное производство характеризуется более четкой специализацией предприятия по выпуску определенных изделий, относительно небольшой номенклатурой их, частичным применением специальных и специализированных станков, а также станков с программным управлением и многоинструментальных с автоматической сменой инструментов.

В единичном производстве выпускаются изделия широкой номенклатуры. Количество их относительно невелико или индивидуально. Изготовление изделий либо не повторяется, либо повторяется через неопределенное время.

Характерным признаком единичного производства является выполнение на рабочих местах различных операций без их периодического повторения.

Продукцией единичного производства являются изделия, не имеющие широкого применения. Единичное производство присуще тяжелому машиностроению (изготовление прокатных станков, крупных гидротурбин и т. д.).

Программа выпуска в массовом производстве обуславливает возможность узкой специализации рабочих мест, за каждым из которых закреплено выполнение только одной операции, и расположение оборудования по ходу технологического процесса в виде поточных линий. На каждой линии производится обработка только одной детали.

Если длительность всех операций на рабочих местах одинакова (или кратна) и соответствует заданной производительности, то работа на линии выполняется непрерывным потоком с заранее установленным темпом или тактом.

Темп (такт) — это промежуток времени между выпуском двух, следующих одна за другой деталей на поточной линии. Темп определяется из соотношения

$$T = \frac{F}{N}, \quad (11)$$

где F — действительный фонд времени, мин; N — число заготовок одного наименования, подлежащих обработке в год, шт.

Темп влияет на построение технологического процесса (иногда его надо расчленять), а также на количество специальных станков в поточной линии.

Современная поточная линия включает в себя не только технологический процесс механической обработки, но и термическую обработку, упрочнение, сварку и т. д.

Характерным признаком современной поточной линии является максимальная автоматизация всех выполняемых процессов.

Основные преимущества автоматических линий: более низкая себестоимость изделий; увеличение производительности труда и высвобождение значительного количества рабочих; увеличение выпуска продукции с 1 м² площади и уменьшение производственных площадей; сокращение цикла производства.

К недостаткам автоматических линий, состоящих из агрегатных и специальных станков, можно отнести: 1) трудности перевода линии на изготовление деталей по другому чертежу, так как это связано с заменой шпиндельных коробок, приспособлений для агрегатных станков, модернизацией значительной части оборудования или заменой его новым; 2) более низкий коэффициент использования оборудования, обусловленный случаями простоя всех или части станков и машин вследствие остановки одного из них, трудностями синхро-

низации операций, выполняемых на отдельных станках на уровне наибольшей производительности. Однако эти недостатки не мешают широко применять автоматические линии в производстве, так как значение первого из них можно снизить за счет применения современных быстропереналаживаемых линий, а второго — за счет улучшения конструкций применяемых станков и других устройств до уровня наиболее производительного, установления станков-дублеров и рациональным построением технологических процессов.

На машиностроительных предприятиях могут применяться различные формы организации поточных линий. Однако основными следует считать три: непрерывно-поточная линия; прямоточная; переменнo-поточная.

На непрерывно-поточных линиях обрабатываемая деталь или собираемое изделие перемещается от одного рабочего места к другому без межоперационного пролеживания. В этом случае все операции синхронизированы во времени (если не равны, то кратны).

На прямоточных линиях операции также закрепляются за рабочими местами, располагаемыми в порядке технологического процесса. Но в связи с тем что время на выполнение отдельных операций не одинаково, у тех рабочих мест, где продолжительность операции больше, периодически создаются заделы деталей.

Как первые, так и вторые линии могут быть однопредметными и многопредметными, т. е. на них может изготавливаться одна деталь или несколько деталей (изделий) поочередно.

Поточные линии, на которых детали изготавливаются поочередно, партиями, называются переменнo-поточными. Они характерны для серийного производства, для обработки конструктивно близких деталей с соответствующими переналадками.

Если на поточной линии все процессы, выполняемые рабочими-операторами, автоматизированы, то поточная линия называется автоматической поточной линией.

Раздел 2

ТОЧНОСТЬ И КАЧЕСТВО В МАШИНОСТРОЕНИИ

ГЛАВА 1

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПОГРЕШНОСТИ И МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ

1.1. Понятие, характеристика и значение точности обработки в машиностроении

Технология машиностроения рассматривает точность как степень соответствия изготавливаемых деталей или изделий их готовому, отвечающему конструктивным требованиям и особенностям, образцу.

Точность обработки характеризуется точностью размеров, форм, взаимного положения поверхностей детали и шероховатостью поверхностей.

Точность выполнения размеров отдельных поверхностей регламентируется допусками, проставляемыми на рабочих чертежах детали.

Под точностью формы поверхности понимается степень соответствия ее геометрически правильной поверхности, с которой она отождествляется. Например, плоские поверхности могут иметь отклонение формы в виде непрямолинейности, а цилиндрические в поперечном сечении — овальность и огранку, в продольном сечении — конусообразность, бочкообразность, изогнутость и др.

Отклонения формы сопряженных поверхностей во многих случаях имеют большее значение для работы деталей в машине, чем погрешности выполнения их размеров.

Допускаемая величина отклонения формы поверхности нередко задается частью допуска на ее размеры и регламентируется ГОСТом.

К погрешностям взаимного расположения поверхностей детали относятся: эксцентричное (не соосное) расположение отдельных участков ступенчатого вала, непараллельность противоположных граней планок, неперпендикулярность оси отверстия торцевой поверхности детали и др. Их значение также регламентируется ГОСТом или устанавливается на основе статистических данных для данного класса машин.

Точность обработки и шероховатость поверхностей назначает конструктор на чертежах деталей или в технических условиях на их изготовление, исходя из предъявляемых к ним требований и функционального назначения. Исходными материалами при этом являются теоретические и экспериментальные данные, а также опыт работы машин аналогичного типа в мировой практике машиностроения.

Задача специалистов по обработке и автоматизации ее заключается в обеспечении заданной точности изготовления машины или ее элементов соответствующим построением технологического процесса с учетом наибольшей производительности и наименьших затрат на их выполнение.

Большинство деталей машин представляет собой определенные комбинации геометрических тел, ограниченных простейшими поверхностями: цилиндрическими, коническими, сферическими, плоскими и др.

Необходимо различать: 1) номинальные поверхности, т. е. поверхности заданной геометрической формы, не имеющие неровностей и отклонений от формы, размеров и взаимного расположения; 2) реальные поверхности, ограничивающие тело и отделяющие его от окружающей среды.

Размеры реальных поверхностей отличаются от номинальных (заданных) вследствие неточности станка, погрешностей изготовления и износа инструмента, деформации системы СПИД, температурных деформаций частей станка, инструмента и обрабатываемой детали, деформаций под влиянием остаточных напряжений и других причин.

Поэтому следует различать заданную (нормированную) точность, указанную на чертеже детали и рассчитанную на возможность обеспечения надежной работы детали в машине, и действительную точность, полученную в результате обработки детали.

Действительную точность обработки можно разделить на экономическую и достижимую.

Под экономической точностью механической обработки следует понимать точность, достигаемую в нормальных производственных условиях при минимальной себестоимости обработки. Нормальные производственные условия — это использование необходимых приспособлений и инструмента, работы рабочего средней квалификации на исправных станках при нормальной затрате времени.

Под достижимой точностью следует понимать точность, достигнутую в особых, наиболее благоприятных условиях для данного производства, т. е. высококвалифицированными рабочими без ограничения затрат времени и расходов на изготовление.

На машиностроительных предприятиях обработка на металлорежущих станках осуществляется с экономической точностью.

Точность в машиностроении имеет большое значение для повышения эксплуатационных качеств машины и для построения технологического процесса их изготовления.

С повышением точности неразрывно связано увеличение скоростей, удельных нагрузок, долговечности и надежности машин. Именно этим объясняется постоянно возрастающее ужесточение требований к точности изготовления деталей машин в целом. Если несколько лет назад в машиностроении считались точными детали, изготовленные в пределах допусков в несколько сотых долей миллиметра, то в настоящее время многие машины для выполнения своего служебного назначения и условий надежности требуют поставки деталей с допусками в несколько микрометров или десятых долей микрометра. В качестве примера можно привести плунжерные пары, допуск на зазор в соединении которых составляет 1—2 мкм, что требует от каждой из сопряженных деталей точности, характеризуемой допуском в 1—2 мкм. В сопряжениях ответственных деталей многих приборов допускается колебание зазора от 0,5 до 1 мкм. О степени влияния точности обработки на долговечность можно судить на примере шарикопод-

шипника, где при уменьшении его зазора с 20 до 10 мкм срок службы увеличивается с 740 до 1200 ч [19].

Повышение точности обеспечивает взаимозаменяемость деталей и узлов машин, а взаимозаменяемость, в свою очередь, обеспечивает возможность поточной сборки и быстрого ремонта.

Повышение точности изготовления заготовок снижает трудоемкость последующей механической обработки и сокращает расход материала из-за уменьшения припусков на ее выполнение.

Быстрое развитие автоматизированного производства ставит особые задачи и требования к вопросам точности, так как в этом случае необходимое качество должно обеспечиваться не искусством рабочего, а в результате устойчивой и надежной работы технологического оборудования.

1.2. Погрешности изготовления деталей и методы обеспечения заданной точности

Погрешности, возникающие при механической обработке, можно разбить на три вида: систематические постоянные, систематические закономерно изменяющиеся и случайные.

Систематические постоянные погрешности возникают под влиянием постоянно действующего фактора и не изменяются при обработке одной или нескольких партий заготовок. Примером систематических постоянных погрешностей может быть конусность обрабатываемой поверхности, возникающая в результате непараллельности оси шпинделя станка направляющим станины, или неперпендикулярность оси просверленного отверстия к базовой плоскости заготовки, возникающая в результате неперпендикулярности оси шпинделя к плоскости стола вертикально-сверлильного станка. Устранением причин возникновения этих погрешностей можно достичь желаемого результата, для чего необходимо изменить условия выполнения данной операции или устранить погрешности станка.

Систематические закономерно изменяющиеся погрешности могут влиять на точность обработки периодически или постоянно. В качестве примера периодически действующей погрешности может быть погрешность, возникающая в результате действия температурной деформации станка в период его пуска до достижения состояния теплового равновесия. Примером непрерывно изменяющейся погрешности может быть погрешность, вызываемая размерным износом режущего инструмента. Эти погрешности можно устранить или компенсировать соответствующей перестройкой станочных операций на основании изучения закономерностей их появления.

Случайные погрешности — это такие погрешности, которые для разных заготовок обрабатываемой партии имеют различное значение. Их появление не подчиняется никакой закономерности; определить заранее момент и величину этих погрешностей для каждой детали в партии не представляется возможным. В результате появления случайных погрешностей происходит рассеивание размеров заготовок, обработанных при одних и тех же условиях. Случайные

погрешности возникают в результате действия большого количества не связанных между собой факторов, к которым можно отнести колебания твердости обрабатываемого материала, величины снимаемого припуска, положения исходной заготовки в приспособлении, колебание температурного режима обработки, затупление или поломку режущего инструмента, колебание величины упругих отжатий элементов технологической системы под влиянием нестабильных сил резания и др.

В зависимости от типа производства, технического и технологического обеспечения производственных цехов машиностроительного завода заданную точность можно обеспечить двумя основными, но принципиально различными методами: 1) метод пробных ходов и промеров, чаще всего используемый в единичном и мелкосерийном производстве; 2) метод автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках, которому в большей мере соответствуют условия серийного и массового производства.

Сущность метода пробных ходов и промеров заключается в том, что к поверхности, подлежащей обработке, подводится режущий инструмент, снимающий пробную стружку с короткого ее участка. После прекращения резания и отвода инструмента от обработанной поверхности производится пробный замер полученного размера. Если измеренный размер имеет отклонения от размера, указанного на чертеже, то в положение режущей кромки инструмента с помощью лимба станка вносится определенная поправка.

Процесс повторяется до момента точной установки режущего инструмента на заданный размер и только после этого производится обработка поверхности на указанную длину. Этот метод имеет свои преимущества и недостатки. К числу преимуществ можно отнести: возможность получить высокую точность обработки квалифицированным рабочим на неточном оборудовании; возможность исключить влияние на точность износа режущего инструмента при обработке мелких заготовок; возможность исключить или уменьшить величину погрешности от неравномерно расположенного припуска в случае обработки неточных заготовок; отпадает необходимость в изготовлении технологической оснастки (различных приспособлений), так как метод позволяет широко использовать разметку.

К числу недостатков метода пробных ходов и промеров можно отнести: ограничение в получении размера с погрешностью меньше толщины снимаемой стружки, ввиду того что рабочий не в состоянии пробными ходами внести поправку по величине меньше толщины снимаемой режущим инструментом стружки; низкая производительность труда высококвалифицированного рабочего, а следовательно, и высокая себестоимость обработки, а также зависимость точности от внимания и других субъективных факторов.

Сущность метода автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках заключается в том, что заданная точность обработки заготовок достигается автоматически, без особого вмешательства рабочего и независимо от его внимания и квалификации. Обеспечение заданной точности обработки здесь зависит уже

не столько от рабочего-оператора, сколько от технолога, разрабатывающего технологический процесс механической обработки, а также от инструментальщика, изготавливающего специальный инструмент и приспособления, и от настройщика станка.

Поэтому метод автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках в условиях серийного и массового производства имеет меньше недостатков, чем метод пробных ходов и промеров, а больше преимуществ. К ним относятся: возможность резкого снижения или полного исключения брака, так как величина припуска на обработку назначается технологом заведомо больше минимально возможной толщины стружки, и процесс не зависит от внимательности и квалификации рабочего; рациональное использование рабочего высокой квалификации в качестве настройщика станков; значительное повышение экономичности производства; улучшение условий труда рабочих, что ведет к снижению их утомляемости и связанного с ней производственного травматизма.

Определенные затраты времени на предварительную настройку станков для автоматического получения размеров, затраты на организацию получения однородных и точных заготовок, детальная разработка технологических процессов и схем настройки оправдывают себя только в условиях массовых и серийных производств. Достигнутая этими мероприятиями заданная точность должна все время поддерживаться путем периодической поднастройки станков, что также связано с большой затратой времени.

В условиях автоматизированных производств необходимо стремиться к обеспечению стабильной работы технологического оборудования, максимально избегать частых настроек и поднастроек его.

1.3. Технологические факторы, вызывающие погрешности механической обработки в обычном и автоматизированном производстве

Основные технологические факторы, оказывающие влияние на точность механической обработки как в обычном, так и автоматизированном производстве, следующие: метод получения заготовки; метод предварительной обработки; метод термической обработки; неточности станков и технологической оснастки; величина, равномерность припусков и состояние поверхностного слоя; неточность установки инструмента, настройки, поднастройки станка, степени износа базирующих и зажимных элементов приспособлений; качество материала заготовки, его твердость, материал режущего инструмента, состояние и геометрия его режущей части; ошибки измерений, деформации системы.

Кроме вышеприведенных факторов, влияющих на точность обработки и величины погрешностей, автоматизированному производству присущи и некоторые свои специфические факторы. К ним относится, прежде всего, настройка и поднастройка станков, зависящие от квалификации настройщиков, соблюдение технологического процесса и графика смены режущего инструмента, однородность и точность заго-

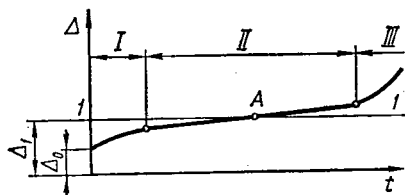


Рис. 5. График изменения точности с течением времени

товок, состояние средств контроля размеров в процессе обработки, чувствительность подладчиков и их настройка. Немалую роль играют погрешности, вносимые системой автоматического управления, передачи обрабатываемой детали с одной позиции автоматического устройства на последующие и другие погреш-

ности, возникающие в каждом конкретном случае.

В зависимости от причин возникновения все погрешности условно можно разделить на две группы: 1) погрешности, не зависящие от нагрузки; 2) погрешности, зависящие от нагрузки и появляющиеся в процессе обработки заготовок.

К первой группе можно отнести погрешности методического характера, погрешности станков, приспособлений и режущего инструмента, погрешности измерений, настройки и поднастройки станка.

Вторую группу составляют погрешности, вызываемые деформациями технологической системы СПИД; погрешности, связанные с размерным износом режущего инструмента; погрешности, появляющиеся в результате действия температурных деформаций и перераспределения внутренних напряжений в заготовках при их обработке.

Погрешности методического характера чаще всего вызываются неточностью кинематической схемы обрабатывающего станка. Так, например, сменные шестерни станка, подбираемые для нарезания соответствующей резьбы, имеют определенную неточность изготовления, что безусловно повлечет за собой отклонения шага нарезаемой резьбы. Характерной особенностью таких погрешностей является то, что их заранее можно рассчитать и в какой-то степени скомпенсировать соответствующими мероприятиями.

Погрешности станков, приспособлений и режущих инструментов появляются, главным образом, за счет неточности их изготовления и отклонений реальных условий работы от расчетных.

Металлорежущее оборудование на станкостроительных заводах выпускается с вполне определенными допустимыми регламентированными погрешностями, но в процессе работы оно изнашивается и поэтому не в состоянии обеспечить первоначальной точности. Износ элементов станков обычно бывает неравномерным по величине, поэтому погрешности формы и взаимного расположения поверхностей постоянно увеличиваются. Характерный график изменения точности с течением времени t показан на рис. 5.

Этап I, характеризующийся сравнительно коротким временем, вызывает возрастание геометрических погрешностей станка на 20—30%. На этапе II погрешность увеличивается медленно, поэтому станок может находиться в эксплуатации несколько лет. На этапе III геометрические погрешности растут быстро, поэтому станок катастрофически теряет точность. Точка A пересечения линии I—I с кривой определяет срок ремонта станка для восстановления его работоспособности по точности обработки.

В результате неточного изготовления приспособления, износа установочных элементов и ошибок установки его на станке возникает так называемая погрешность положения заготовки $\epsilon_{\text{пр}}$ — одна из трех составляющих погрешности установки. Величина погрешности положения заготовки $\epsilon_{\text{пр}}$ регламентирована определенными нормами и периодически контролируется в процессе эксплуатации приспособления. При обработке заготовок на автоматических линиях с использованием приспособлений-спутников на величину $\epsilon_{\text{пр}}$ оказывает влияние износ их опорной нижней поверхности. Погрешность установки возникает обычно при обработке заготовок с использованием приспособлений. В ее состав, кроме погрешности положения заготовки $\epsilon_{\text{пр}}$, входят погрешность базирования ϵ_6 и погрешность закрепления ϵ_3 . Если принять распределение ϵ_6 , ϵ_3 и $\epsilon_{\text{пр}}$ по нормальному закону, то величина погрешности установки

$$\epsilon_{\text{ус}} = \sqrt{\epsilon_6^2 + \epsilon_3^2 + \epsilon_{\text{пр}}^2}. \quad (12)$$

Погрешность базирования — это разность предельных расстояний от измерительной базы обрабатываемой заготовки до установленного на размер режущего инструмента. Эта погрешность возникает обычно при несовмещении измерительной и технологической (установочной) баз. В случае совмещения баз $\epsilon_6 = 0$. В каждом конкретном случае ее можно определить геометрическими расчетами. Величина ϵ_6 зависит от допуска на размер между измерительной и технологической базами и от величины погрешности формы последней.

Погрешность закрепления — это разность предельных расстояний от измерительной базы до установленного на размер режущего инструмента в результате смещения обрабатываемых заготовок от действия зажимной силы. Измерительная база заготовок, закрепленных в приспособлениях-спутниках на автоматических линиях, смещается в результате контактных деформаций в местах касания спутника с направляющими для его перемещения за счет силы, возникающей при закреплении самого спутника в рабочей позиции специальными зажимными устройствами. Величину этих смещений можно определить по экспериментально установленной зависимости вида

$$y = Cg^m, \quad (13)$$

где C — коэффициент, зависящий от материала и состояния базовой поверхности заготовки;

g — удельное давление в местах контакта, кгс/мм²;

$m = 0,4 \div 0,6$ — показатель степени, определяемый экспериментально.

Для получения минимальных отклонений при механической обработке точность изготовления приспособлений должна быть выше требуемой точности станков инструментальных цехов по сравнению со станками механических цехов.

Точность режущих инструментов непосредственно отражается на точности обработки при работе мерным и профильным инструментом (сверла, фрезы, развертки, метчики, канавочные резцы, шлифоваль-

ные круги, протяжки и т. д.). Бесспорно, своевременный контроль за износом станков и приспособлений, а также требования повышенной точности к инструменту могут свести этот вид погрешностей к определенному минимуму.

Погрешности настройки и поднастройки станка возникают в условиях любого вида производства, связанного с механической обработкой резанием, но особенно заметно их влияние на точность обработки в условиях автоматизации, требующих, как известно, узких допусков на выполняемые размеры. В современном автоматизированном производстве настройка станков на заданный размер производится методом последовательного приближения к нему в результате обработки пробных деталей и методом установки режущего инструмента в заранее рассчитанное положение по эталону или вне станка с использованием специальных устройств и приборов.

Метод пробных деталей обеспечивает высокую точность настройки при использовании в качестве пробных значительного количества деталей и чувствительных измерительных приборов. Трудоемкость настройки высокая. Определенное количество деталей, полученных из числа пробных заготовок, идет в брак. В автоматизированном производстве метод хорошо себя зарекомендовал для настройки сравнительно простых станков с небольшим количеством режущих инструментов и при обработке небольших по габаритам и простых по форме деталей. При обработке сложных по форме и дорогостоящих деталей с использованием автоматических линий, многоинструментальных и многопозиционных станков метод пробных деталей не пригоден.

Профессор В. С. Корсаков [12] для расчета погрешности настройки станков по методу пробных деталей с поверхностями вращения рекомендует формулу

$$\Delta_n = 2 \sqrt{k_1 \Delta_{изм}^2 + k_2 \Delta_{рег}^2 + k_3 \Delta_{расч}^2}, \quad (14)$$

где k_1, k_2, k_3 — коэффициенты, учитывающие отклонение закона распределения подкоренных величин от нормального закона распределения (численное значение этих коэффициентов находится в пределах 1,0—1,5); $\Delta_{изм}$ — погрешность измерения пробных деталей; $\Delta_{рег}$ — погрешность регулирования положения режущего инструмента при настройке станка; $\Delta_{расч} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ — погрешность метода расчета смещения режущего инструмента; σ — среднее квадратичное отклонение, характеризующее точность данного метода обработки; n — количество пробных деталей.

Для предварительной получистовой и чистовой обработки сложных деталей на автоматических линиях и станках с многоинструментальным оснащением рекомендуется настройку и поднастройку оборудования производить по эталону или вне станка.

Настройка вне станка имеет определенные преимущества, связанные с сокращением простоев оборудования на смену режущих инструментов, хотя погрешности настройки несколько больше погрешностей настройки по пробным деталям, особенно на операциях тонкой обработки.

Для расчета погрешности настройки по эталону рекомендуется формула

$$\Delta_n = \sqrt{k_1 \Delta_{\text{эт}}^2 \cdot k_2 \Delta_{\text{уст}}^2}, \quad (15)$$

где $\Delta_{\text{эт}}$ — погрешность изготовления эталона; $\Delta_{\text{уст}}$ — погрешность установки инструмента по эталону. Величины $\Delta_{\text{эт}}$ находятся в пределах $10 \div 20$ мкм, а $\Delta_{\text{уст}}$ — $20 \div 30$ мкм.

В настоящее время настройка режущих инструментов на заданную точность вне станка может осуществляться с использованием современной оптической аппаратуры, что позволяет существенно повлиять на уменьшение погрешностей по сравнению с настройкой по эталону. В этом случае расчет погрешности можно производить по формуле

$$\Delta_n = \sqrt{k_1 \Delta_{\text{выв}}^2 + k_2 \Delta_{\text{поз}}^2}, \quad (16)$$

где $\Delta_{\text{выв}}$ — погрешность выверки инструмента вне станка; $\Delta_{\text{поз}}$ — погрешность позиционирования (фиксации) инструментального блока на станке. Численные значения каждой из этих погрешностей рекомендуется принимать в пределах $10\text{--}20$ мкм.

Погрешности измерений возникают в результате колебаний температуры в цехе, которые обычно составляют $3\text{--}4^\circ\text{C}$. Эти температурные колебания вызывают погрешности, достигающие для стали $0,003\text{--}0,004$ мм на 100 мм.

Кроме того, на величину погрешностей измерения влияют упругие деформации измерительного инструмента вследствие его недостаточной жесткости. Практикой установлено, например, что упругое расширение калибра-скобы на $9,81$ Н давления составляет от $0,0015$ до $0,004$ мм для тяжелых и от $0,0025$ до $0,0006$ мм для легких калибров-скоб.

Из-за зазоров в элементах станков и приспособлений и постоянного их увеличения по мере износа деталей, а также недостаточной жесткости всей технологической системы станок-приспособление-инструмент-деталь (СПИД) при механической обработке появляются погрешности размеров и геометрической формы заготовок.

Под *жесткостью* технологической системы СПИД подразумевается способность ее оказывать сопротивление действию сил резания. На точность обработки детали влияют в основном деформации в направлении, нормальном к обработанной поверхности, т. е. от действия радиальной составляющей усилия резания P_y . Как показали опыты, пренебрежение составляющими усилия резания P_x и P_z при расчете жесткости приводит к занижению ее численного значения.

Расчет жесткости технологической системы определяется отношением

$$j = \frac{P_y}{y}, \quad (17)$$

где j — жесткость технологической системы, кН/м (кгс/мм); P_y — нормальная составляющая усилия резания, кН (кгс); y — суммарное смещение лезвия режущего инструмента относительно обрабатываемой

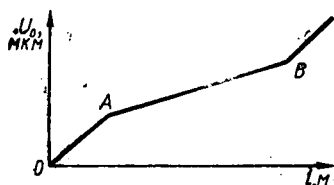


Рис. 6. Кривая размерного износа инструмента

поверхности или величина прогиба детали при продольном точении, m (мм).

Жесткость системы можно определить как сумму жесткостей отдельных ее звеньев. В этом случае удобнее пользоваться так называемой податливостью системы, численно равной величине, обратной жесткости.

Податливость технологической системы — это способность ее упруго деформироваться под действием внешних сил. Численное определение податливости можно выразить отношением

$$\omega = \frac{y}{P_y}. \quad (18)$$

Как следует из определения,

$$\omega = \frac{1}{j}. \quad (19)$$

Ввиду того что величина смещения системы равна сумме смещений (приведенных к точке и направлению) отдельных ее элементов ($y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n$), суммарная податливость системы может быть вычислена как сумма податливостей отдельных элементов

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots + \omega_n. \quad (20)$$

Суммарная жесткость системы будет

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \frac{1}{j_3} + \dots + \frac{1}{j_n}. \quad (21)$$

Если при расчетах величины смещения учитывать только жесткость обрабатываемой заготовки (ввиду наибольшего ее влияния), то расчет будет неточным, так как в процессе механической обработки деформируются не только заготовка и инструмент, но также и детали станка, приспособления. Исходя из этого, при расчетах точности обработки надо учитывать общую жесткость системы СПИД, которая в большинстве случаев значительно меньше жесткости детали.

Размерный износ инструмента можно выразить в виде графика (рис. 6). Он приводит к укорочению инструмента в направлении, нормальном к обрабатываемой поверхности, а следовательно, и к изменению ее размеров.

В случае обработки протяженных поверхностей размерный износ вызывает погрешности формы обрабатываемой детали в виде конусности. А в случае обработки небольших деталей он сказывается на изменении размеров последовательно обрабатываемых деталей в партии.

В практике считают, что размерный износ режущего инструмента пропорционален времени резания и за его характеристику принимают износ, отнесенный к 1000 м пути резания.

$$U_0 = \frac{1000U}{l}, \quad (22)$$

где U_0 — относительный износ, мкм/км; U — размерный износ на пути резания, мкм; l — путь резания в зоне нормального износа, км.

По характеристике U_0 судят о качестве и стойкости того или иного инструмента.

Из приведенной кривой износа инструмента видно, что она состоит из двух участков OA и AB . Участок OA характеризует интенсивный начальный износ, а AB — размерный износ.

$$U = \frac{l + l_n}{1000} U_0, \quad (23)$$

где U — размерный износ, мкм; l_n — длина пути резания, на которой происходит начальный износ, м ($l_n = 500 \div 1500$ м).

Из всех характеристик процесса резания на величину износа скорость резания оказывает наибольшее влияние. Для каждого определенного материала установлена некоторая оптимальная скорость резания, при которой размерный износ инструмента минимален. Для стали при чистовой ее обработке резцами из пластинки твердого сплава скорость резания находится в пределах 150—200 м/мин, а для чугуна — в пределах 70—90 м/мин. Твердость материала и марка применяемого твердого сплава также оказывает влияние на величину размерного износа инструмента: при увеличении твердости обрабатываемого материала износ растет, а применение пластин твердого сплава с повышенным содержанием титана понижает износ.

С увеличением подачи и глубины резания размерный износ увеличивается, при этом подача влияет сильнее, чем глубина резания. Установлено, что при увеличении подачи от 0,1 до 0,3 мм/об износ повышается на 20—50%, а при увеличении глубины резания от 0,1 до 0,5 мм износ повышается на 20%.

Погрешности, вызываемые температурными деформациями системы СПИД, учитываются при выполнении точных операций.

В процессе работы за счет сил взаимодействия обрабатываемый материал и инструмент нагреваются. При нагревании инструмента происходит его удлинение, которое зависит от времени рабочего контакта с обрабатываемой заготовкой в период резания. Установлено, что сначала удлинение происходит быстро, а затем замедляется. В момент наступления теплового равновесия удлинение резца практически прекращается. Размеры обрабатываемых деталей в процессе нагрева также изменяются, причем при черновой обработке за счет большего нагрева их изменение больше, чем при чистовой. Исходя из этого, чистовую обработку деталей следует производить с некоторой выдержкой до полного остывания после черновой обработки.

При работе металлорежущих станков за счет теплоты трения происходит нагревание некоторых узлов. Из-за неравномерности нагревания узлов возникают их деформации и связанные с этим погрешности обработки деталей. Например, за счет неравномерного нагревания стенок передней бабки токарного станка может произойти смещение шпинделя в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Естественно, что и размер деталей, обработанных в начале смены, будет отличаться от размера деталей, обработанных после некоторого времени

работы станка. Поэтому при выполнении особо точных работ необходимо производить предварительный прогрев станка. Практически это сводится к тому, что в начале смены загрузка станка осуществляется выполнением черновых операций, а по достижении теплового равновесия — чистовых.

Величина времени, необходимого на прогрев станка до установления теплового равновесия, определяется для каждого конкретного случая, исходя из вида заготовок, материала, состояния станка и т. д.

Погрешности обработки, вызываемые внутренними напряжениями, как правило, возникают при обработке крупных заготовок деталей. В каждой заготовке детали, полученной методом литья,ковки, прокатки и т. д., имеются внутренние напряжения, возникающие из-за неравномерного охлаждения и структурных превращений в металле. Чем крупнее заготовка, тем больше внутренние напряжения. В процессе механической обработки таких заготовок со снятием стружки происходит перераспределение внутренних напряжений, которое сопровождается определенными деформациями. Для частичного, а иногда и полного устранения возможности появления деформаций необходимо после обдирки перед чистовой обработкой ослабить крепление заготовки на несколько минут и потом произвести его заново. В заготовках больших размеров такой меры недостаточно, поэтому крупную деталь после обдирки следует подвергнуть естественному или искусственному старению, при котором внутренние напряжения выравниваются.

Кроме перечисленных, есть погрешности обработки заготовок, присущие только автоматизированным производствам. К ним относятся погрешности позиционирования, связанные с перемещением заготовки с одной позиции на другую, величина которых зависит от точности выполнения и степени износа индексирующих устройств оборудования; погрешности, связанные с нарушениями преемственности рабочих позиций оборудования; при обработке на станках с программным управлением имеют место погрешности подготовки и воспроизведения управляющих программ.

Каждый из перечисленных факторов по своему влияет на время проявления погрешности, ее величину и направление, однако в итоге они составляют так называемую суммарную погрешность обработки. Для того чтобы деталь можно было назвать точно обработанной, необходимо исключить или уменьшить влияние технологических факторов до положения, при котором суммарная погрешность обработки Δ должна быть меньше величины допуска δ , заданного конструктором, т. е. $\Delta \leq \delta$.

Расчет суммарной погрешности обработки производится с учетом отнесения составляющих ее к систематическим или случайным погрешностям.

Систематические погрешности суммируются алгебраически с учетом их знака. Например, погрешности, вызванные износом резца и его нагреванием, имеют противоположные знаки и взаимно компенсируются. Систематическая погрешность со случайной складываются арифметически, так как случайная погрешность может иметь любой знак.

При суммировании принимаются наименее благоприятные условия, когда случайная погрешность имеет тот же знак, что и систематическая.

Независимые случайные погрешности, подчиняющиеся закону нормального распределения, складываются по правилу квадратного корня:

$$\Delta = k \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2}, \quad (24)$$

где Δ — суммарная погрешность; $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_n$ — составляющие погрешности; k — коэффициент, учитывающий вид кривой распределения погрешностей.

Для нормального закона распределения $k = 1$. При отступлении от этого закона величина коэффициента k изменяется от 1 до 1,73. При работе на настроенных станках $k = 1,2$.

1.4. Анализ точности обработки автоматизированных производств и основные мероприятия, способствующие ее повышению

Объективная необходимость, диктуемая техническим прогрессом, естественно, поставила перед машиностроением неотложные задачи повышения производительности труда и точности обработки не только в массовых и крупносерийных производствах, но и в мелкосерийных.

Путем для достижения поставленных целей явился разработанный инженерами принцип концентрации технологических операций, а средством — создание станков с программным управлением, агрегатных станков и поточных линий из универсальных, агрегатных, специализированных и специальных станков.

Если рассматривать эти средства механической обработки деталей с точки зрения обеспечения большей точности, то необходимо, учитывая особенности и назначение каждого, произвести некоторые сравнения.

Так, если специализированные автоматы и полуавтоматы гарантируют высокую производительность в массовых и крупносерийных производствах, то станки с программным управлением сочетают производительность и точность специализированного станка с быстротой переналадки универсального оборудования. При использовании станков с программным управлением отпадает необходимость в операции разметки, а следовательно, отсутствуют и погрешности, связанные с разметкой. Если для обработки сложной детали на универсальных станках требуется изготовление копира, то при обработке таких же деталей на станках с программным управлением копир не требуется. Это обстоятельство исключает погрешности обработки, связанные с неточностью изготовления копира, его установки и чувствительности следящей системы.

Однако станки с числовым программным управлением требуют высокой точности и исполнения команд на перемещение (5—10 мкм для токарных и фрезерных и 1—2 мкм для координатно-расточных станков). На точность обработки на станках с программным управле-

нием значительное влияние оказывает точность изготовления всех его деталей, узлов и станка в целом, качество сборки, величина люфтов, жесткость его элементов, погрешности элементов привода позиционирования и т. п.

Современные станки с программным управлением практически по всем показателям отвечают существующим требованиям, а поэтому и обеспечивают высокую точность и производительность даже в мелкосерийных производствах.

В массовом и крупносерийном производстве широко применяют агрегатные станки и автоматические линии из них. Агрегатный принцип построения станков из типовых и унифицированных узлов расширяет возможность указанных типов производств при переходе на новый вид продукции.

Принято считать, что большую точность обеспечивают агрегатные станки, особенно при обработке средних и малых деталей. Это связано, главным образом, с тем, что на автоматических линиях некоторые механизмы изнашиваются намного быстрее за счет многократной установки, закрепления и открепления (по числу операций) из приспособления. На агрегатных же станках деталь, однажды закрепленная в приспособление, проходит полный цикл обработки. Установочные базы и зажимные механизмы автоматической линии будут изнашиваться в несколько раз быстрее, что, несомненно, сказывается на точности обработки. Между тем, слишком большая концентрация одновременно работающих инструментов, свойственная обработке на агрегатных станках, может стать причиной появления погрешностей от действия усилий резания, тепловых деформаций и деформаций из-за перераспределения внутренних напряжений в обрабатываемой заготовке.

Погрешности механической обработки на станках можно уменьшить путем строго последовательного выполнения операций и переходов, а именно: обработка поверхностей, образующих установочные базы для всех последующих операций обработки; черновая обработка основных поверхностей; чистовая обработка основных поверхностей; черновая и чистовая обработка второстепенных поверхностей; выполнение отделочных и доводочных операций и переходов по основным поверхностям.

Погрешность базирования можно исключить (свести к нулю) путем совмещения технологической и измерительной баз, что очень важно в условиях автоматизации, или уменьшить, правильно выбрав установочную схему.

Погрешности закрепления значительно уменьшаются рациональным выбором конструкции, размеров и расположения опор приспособления, а также места приложения и направления зажимной силы. С увеличением жесткости несущих элементов приспособлений и обеспечением постоянства зажимных усилий по величине погрешность закрепления уменьшается.

В автоматизированных производствах и особенно на автоматических линиях с использованием приспособлений-спутников происходит интенсивный износ установочных элементов приспособлений. Причиной этому является установка заготовок путем автоматическо-

го заталкивания их в рабочую полость приспособлений, а не установка сверху, свойственная обычному производству. Уменьшить износ установочных элементов приспособлений можно за счет увеличения несущей способности путем изготовления их из более износостойких материалов или наплавки на участки интенсивного износа твердого сплава.

В целях выполнения точности обработки в условиях автоматизированных производств необходимо исключить возможность попадания стружки и грязи или обеспечить легкость очистки приспособлений от них. Первое условие не всегда выполнимо, а второе обеспечивается при передаче приспособлений-спутников с последней позиции автоматической линии на исходную за счет обдувки их сжатым воздухом, смывания стружки струями охлаждающей жидкости и использования специальных стружкоочистных устройств.

Точность многоинструментальной обработки резко повышается при увеличении жесткости всей технологической системы и особенно обрабатываемой исходной заготовки, а в целях исключения ступенек на обработанных поверхностях деталей надо стремиться к устранению одновременного входа и выхода режущих инструментов из работы.

Для повышения точности обработки на автоматических линиях очень важно иметь стабилизированную расчетную величину зажимной силы. Это обеспечивается использованием пневматических и гидравлических зажимных устройств прямого действия. Чтобы уменьшить влияние размерного износа на точность, необходимо применять режущий инструмент, изготовленный с пластинами твердого сплава и износостойкими покрытиями с использованием алмазов, минералокерамики, кубического нитрида бора и других стойких материалов, а также необходимо улучшить геометрию режущей части инструмента.

При работе на многоинструментальных станках и автоматических линиях весьма важным для повышения точности обработки является своевременная поднастройка и смена затупившегося инструмента в регламентированные перерывы. Для этого необходимо рассчитать режимы резания так, чтобы размерная стойкость лимитирующего инструмента была не меньше времени до регламентированного перерыва (конца смены, перерыва на обед).

Многоинструментальная обработка тонкостенных заготовок малых масс, обработка поверхностей больших размеров и ведение процесса резания без охлаждения отрицательно сказываются на точности готовых деталей из-за влияния тепловых деформаций. Снизить их влияние, а значит повысить точность обработки можно путем управления процессом резания (повышением скорости резания, отводом большей части тепла в стружку), обильным подводом охлаждающей жидкости в зону резания стальных заготовок или изменением способа ее подвода, рациональным построением технологического процесса, предусматривающего чередование операций с большим и меньшим нагревом заготовок, выдержкой последних на транспортирующем устройстве или в накопителе.

Чтобы повысить точность обработки на станках при малых перемещениях их узлов, необходимо исключить скачкообразный характер

этих перемещений, свойственный парам с трением скольжения. В какой-то мере это достигается в современном автоматическом оборудовании заменой в узлах и направляющих трения скольжения трением качения, использованием в механизмах точной подачи шариковых винтовых пар, специальных антискачковых масел в узлах трения качения и других мероприятий конструктивного характера.

1.5. Статистические методы исследования точности обработки деталей

Наиболее распространенными методами исследования точности обработки деталей являются: метод построения эмпирических кривых распределения погрешностей и метод построения точечных диаграмм.

В основу методов положены приемы математической статистики для обработки наблюдений и измерений партии обработанных деталей с последующим сопоставлением поля фактического рассеивания их размеров с заданным допуском на размер. Наиболее достоверные данные исследований и анализа получаются в том случае, если текущая выборка из партии заготовок, обработанных одна за другой на одном и том же станке, будет не менее 50, а измерение их размеров будет производиться прибором, цена деления шкалы которого i выбрана из условия

$$i = \left(\frac{1}{\delta} \cdots \frac{1}{10} \right) \delta, \quad (25)$$

где δ — допуск на измеряемый размер, мкм.

Для получения кривых распределения погрешностей необходимо произвести измерение фактических величин данного размера выборки из 50—100 штук деталей и занести их в таблицу; определить поле рассеивания $X_{\max} - X_{\min}$, т. е. разность между максимальным и минимальным размерами, и отложить их по оси абсцисс; полученное поле рассеивания (рис. 7) разделить на равные интервалы, определить частоту каждого интервала, т. е. количество деталей, размеры которых находятся в пределах каждого интервала; определить частоту (относительную частоту) как отношение абсолютной частоты n к общему количеству деталей в выборке партии N ($W = \frac{n}{N}$); вставить к серединам интервалов перпендикуляры и отложить на них частоту; соединить полученные точки прямыми линиями. Полученная в результате этого ломаная линия и является эмпирической кривой рассеивания погрешностей. Эту ломаную линию можно приблизить к плавной кривой за счет увеличения количества деталей в выборке и числа интервалов, помня, что цена интервала должна не менее чем вдвое превышать цену деления шкалы измерительного прибора. Кривые

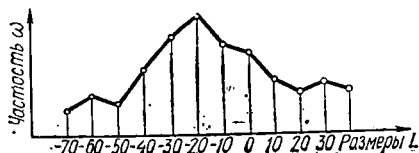


Рис. 7. График рассеивания размеров при обработке

распределения погрешностей при их изучении позволяют отделить влияние постоянных систематических погрешностей от влияния погрешностей случайных, а также в ряде случаев предсказать значение случайных погрешностей на основании обследования ранее обработанных партий деталей.

Кривые распределения характеризуются средним размером и средним квадратическим отклонением. Средний размер деталей определяется по формуле

$$L = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_i, \quad (26)$$

где L_i — размеры отдельных деталей; N — количество деталей в партии.

Среднее квадратическое отклонение определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + \dots + X_N^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N X_i^2}{N}}, \quad (27)$$

где X_i — отклонение размеров от их среднего значения

$$X_1 = L_1 - L_{cp}; \quad X_2 = L_2 - L_{cp}; \quad \dots \quad X_i = L_i - L_{cp}. \quad (28)$$

Разность между наибольшим и наименьшим действительными размерами деталей в партии называют размахом распределения или полем рассеивания

$$\Delta_p = L_{\max} - L_{\min}. \quad (29)$$

На основании центральной предельной теоремы теории вероятностей установлено, что при достаточно большом количестве независимых случайных величин закон распределения их суммы весьма близок к закону нормального распределения при некоторых ограничениях. Эти ограничения сводятся к тому, чтобы ни одна из складываемых случайных величин не играла в сумме преобладающей роли по сравнению со всеми остальными. Исходя из этого, полученную экспериментальным путем кривую распределения погрешностей можно сравнить с теоретической кривой нормального распределения, выражаемой уравнением

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (30)$$

где y — плотность вероятности; e — основание натуральных логарифмов; x — случайная величина; σ — среднее квадратическое отклонение случайной величины.

Важнейшие свойства кривой нормального распределения погрешностей (рис. 8) следующие: 1) кривая симметрична относительно оси ординат и ее ветви асимптотически приближаются к оси абсцисс; 2) ордината вершины кривой определяется равенством

$$y_{\max} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} = \frac{0,4}{\sigma}; \quad (31)$$

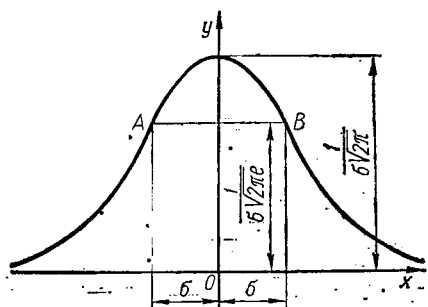


Рис. 8. Кривая нормального распределения

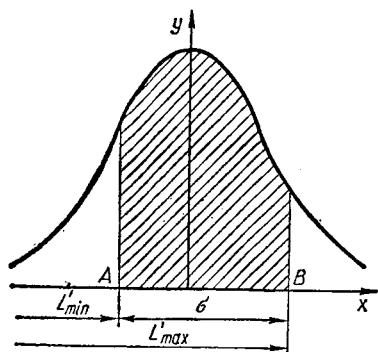


Рис. 9. Кривая рассеяния размеров

3) координаты точек перегиба кривой следующие:

$$x = \pm \sigma; \quad y_A = y_B = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi e}} = \frac{y_{\max}}{\sqrt{e}} = 0,6 y_{\max} = \frac{0,24}{\sigma}. \quad (32)$$

Площадь, ограниченная кривой нормального распределения:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} y dx = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = 1. \quad (33)$$

С помощью построенной и точно проанализированной кривой распределения погрешностей можно определить соотношение между возможным количеством годных и бракованных деталей, а также соотношение между значениями поля рассеивания Δ_p , поля допуска δ и смещения середины поля допуска Δ_n . Так как кривая распределения погрешностей строится по результатам замеров партии деталей при постоянной настройке станка, то площадь, ограниченная этой кривой, в некотором масштабе определяет полное количество обработанных деталей. Части площади, ограниченной выбранными точками A и B, будет соответствовать количеству деталей с размерами, лежащими в ограниченном интервале AB (рис. 9). Годными будут все детали, размеры которых находятся в интервале AB в том случае, если наибольший и наименьший предельные размеры $L_{\max}$ и $L_{\min}$ совпадут с интервалом AB. Вероятность получения годных деталей можно определить соотношением площади заштрихованного участка ко всей площади, ограниченной кривой нормального распределения погрешностей. Для заданного интервала отклонений X эта площадь определяется интегралом

$$F = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (34)$$

который для удобства представляется в виде функции $z = \frac{x}{\sigma}$. Дифференцируя это выражение, получаем $dx = \sigma dz$. Подставляя значения

z и dx в предыдущую формулу, получаем

$$\Phi(z) = 2F(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (35)$$

Так как вся площадь, ограниченная кривой, равна единице, то значение $\Phi(z)$ определяет вероятность получения размера в пределах $\pm X$. Процент брака определяется по формуле

$$P = [1 - \Phi(z)] \cdot 100\%. \quad (36)$$

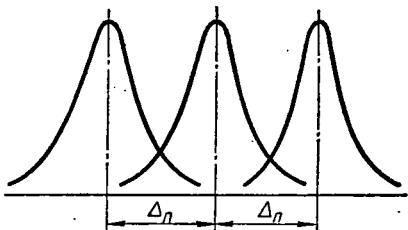


Рис. 10. Смещение кривых при наличии постоянных погрешностей

Совершенно очевидным является то, что количество неисправного брака при данных значениях предельных отклонений будет отображаться площадью, левее точки A , а исправного — правее точки B , при наружной обработке. В случае обработки охватывающих поверхностей количество исправного и неисправного брака определяется по тем же площадям, но в обратном порядке.

По данным теории вероятностей в интервале $x = \pm 0,3\sigma$ находится 25% всего количества обрабатываемых деталей, в интервале $x = \pm 0,7\sigma$ — 50%, в интервале $x = \pm 1,1\sigma$ — 75%, а в интервале $x = \pm 3\sigma$ — 99,7%. Практически принято считать, что если допуск на обработку находится в пределах 6σ , то обработка получается без брака.

Если при построении кривых рассеивания погрешностей для нескольких партий деталей получится смещение одной кривой относительно другой на величину Δ_n постоянной погрешности, то это является сигналом неблагополучного положения с настройкой станка или неточности изготовления измерительного инструмента (рис. 10). Учитывая соответствующим образом выявленную величину Δ_n или устранив причину ее появления, можно добиться исчезновения этой погрешности.

Таким образом, применяя и анализируя кривые распределения погрешностей, можно сделать ряд важных выводов о точности различных технологических процессов. Недостатком этого метода является то, что он не вскрывает сущности физических явлений, не дает возможности установить изменение размеров с течением времени в процессе обработки деталей, в результате чего невозможно отделить переменные систематические погрешности от случайных. Эта задача решается построением, анализом и обработкой специальных точечных диаграмм.

Построение точечных диаграмм сводится к следующему: 1) по горизонтальной оси откладываются номера обрабатываемых заготовок в той последовательности, в которой они сходят со станка; 2) по вертикальной оси в виде точек откладываются результаты измерений обрабатываемых заготовок; 3) соединив точки прямыми и проанализировав полученную в результате этого кривую, можно судить об изменениях величины погрешностей во времени в партии обработанных заготовок.

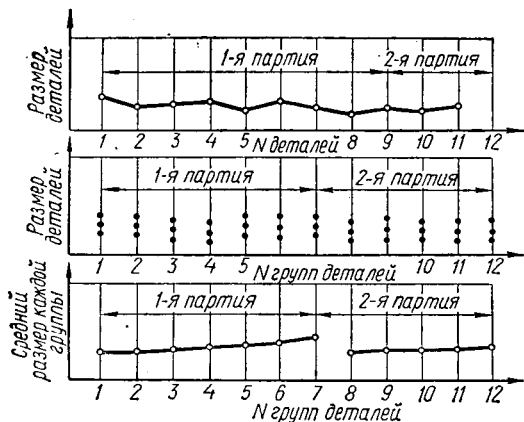


Рис. 11. Точечные диаграммы

но снимаемым со станка количеством заготовок в каждой группе (рис. 11). Точечная диаграмма становится еще более наглядной, если по вертикальной оси откладывать не все значения отклонений заготовок, входящих в группу, а их средние величины.

В числе других исследований процессов обработки статистическими методами можно назвать: построение так называемых контрольных и точностных диаграмм, анализ точности по нарастающим отклонениям размеров, анализ по нарастающей сумме отклонений размеров от размера настройки и другие, рассматриваемые в специальных курсах металлообработки.

Статистические методы не дают возможности с полной достоверностью судить о точности выполнения предстоящих операций и не позволяют вскрыть источники погрешностей, возникающих в процессе обработки.

1.6. Основные сведения о допусках и технологическое решение размерных цепей

Изготовленные детали будут безаварийно выполнять свое функциональное назначение в собранной машине только в том случае, если их действительные (полученные непосредственным измерением с допустимой погрешностью) размеры будут находиться между двумя предельными значениями заданных размеров — наибольшим и наименьшим. Эту разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами в машиностроении называют *допуском на размер*.

Различают конструктивные и технологические допуски. Конструктивные допуски устанавливаются конструктором, исходя из условия обеспечения эффективной и надежной работы детали в эксплуатационных условиях.

Технологические допуски устанавливаются технологом в зависимости от принятого им порядка и последовательности обработки по-

Построение точечных диаграмм для нескольких партий заготовок позволяет судить об изменении величины и характера погрешностей для различных партий.

Для уменьшения длины точечных диаграмм (при больших партиях деталей) пользуются методом группировки обрабатываемых заготовок, т. е. по горизонтальной оси откладываются не номера заготовок, а номера групп заготовок с одинаковым последователь-

верхностей, но с учетом обеспечения размеров готовой детали, назначенных на ее чертеже конструктором.

Непрерывно растущие требования к точности машин и деталей в условиях автоматизированных производств вызывают необходимость правильного установления размеров и допусков на рабочих и сборочных чертежах не только отдельных деталей, но и их звеньев, а также определенного взаимного расположения их в кинематических цепях собранной машины. Таким образом, все размеры в машине, сборочной единице и детали находятся во взаимосвязи друг с другом и изменение одного из размеров будет оказывать влияние на другие размеры.

Решение задач, связанных с изменением размеров и допусков на них, осуществляется анализом размерных цепей. *Размерной цепью* называется совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи. Размерную цепь на чертеже детали называют конструкторской цепью, а размерную цепь, отражающую связь операционных размеров, называют операционной или технологической размерной цепью.

Размеры, образующие размерную цепь, называют звеньями этой цепи. Наименьшее число звеньев, образующих размерную цепь, равно трем. Все звенья размерной цепи подразделяются на две группы: составляющие звенья и замыкающее звено.

Замыкающее звено — это звено, которое получается последним в результате решения поставленной задачи, в том числе при изготовлении и измерении.

Размерные цепи могут быть с линейными размерами и параллельными звеньями (рис. 12, а) и с линейными размерами и непараллельными звеньями (рис. 12, б). В зависимости от количества звеньев, входящих в размерные цепи, последние подразделяются на простые и сложные, т. е. многозвенные.

Для наглядности размерные цепи необходимо изображать в виде схем (рис. 12, а'). Зазоры на многозвенных схемах указываются как самостоятельные звенья цепи. Для решения цепей, ряд размеров которых не лежит в одной плоскости (пространственные цепи), рекомендуется пользоваться методом проектирования их на одну плоскость.

Замыкающий размер в конструкторской размерной цепи не особенно важен, и на рабочих чертежах деталей он не проставляется.

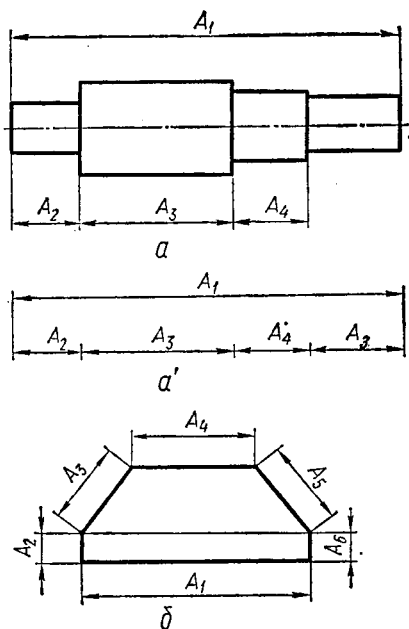


Рис. 12. Примеры различных размерных цепей

Возможная погрешность в этом случае равна сумме погрешностей всех составляющих размеров. В технологических же цепях замыкающие размеры имеют важное значение, так как большей частью это размеры, заданные в чертежах. Следовательно, составляющие размеры в конструкторских цепях оказываются замыкающими в технологических цепях.

Основное свойство размерных цепей заключается в их замкнутости, определяемой наличием двух ветвей. Первая ветвь размерной цепи A_1 , все звенья которой непосредственно участвуют в решении поставленной задачи, называется основной, а вторая ветвь $A_2 + A_3 + \dots + A_4 + A_{\text{зам}}$, заканчивающая построение размерной цепи и содержащая уменьшающие ее звенья, называется замыкающей. Построение размерных цепей необходимо всегда начинать с основных ветвей.

На рис. 12, a' видно, что замыкающее звено многозвенной размерной цепи

$$A_3 = A_1 - (A_2 + A_3 + A_4). \quad (37)$$

Допуск δ замыкающего звена размерной цепи равен сумме допусков всех остальных звеньев данной размерной цепи, т. е.

$$\delta_{A_3} = \delta_{A_1} + \delta_{A_2} + \dots + \delta_{A_{m-1}} = \sum_{i=1}^{i=m-1} \delta_i. \quad (38)$$

Приведенное уравнение (37) является одним из основных уравнений размерной цепи, из которого вытекают два основных правила.

1. В качестве замыкающего звена в размерной цепи надо выбирать (с точки зрения эксплуатации) самое грубое по точности звено, чтобы для него можно было назначить суммарный допуск всей размерной цепи. Основано это правило на том, что в замыкающем звене, так как оно последнее в процессе изготовления, накапливаются погрешности предшествующей обработки всех составляющих звеньев.

2. Для облегчения решения размерной цепи необходимо проектировать размерные цепи с наименьшим числом звеньев. Это правило объясняется тем, что при большом числе размеров в замыкающем звене получается такой большой допуск, что ни на одно из звеньев размерной цепи нельзя его назначить.

Погрешность размера, получающаяся на замыкающем звене размерной цепи, должна быть равна сумме погрешностей всех остальных звеньев, составляющих данную размерную цепь:

$$\Delta_{A_3} = \Delta_{A_1} + \Delta_{A_2} + \dots + \Delta_{A_{m-1}} = \sum_{i=1}^{i=m-1} \Delta_i, \quad (39)$$

где Δ_{A_3} — погрешность замыкающего звена размерной цепи; Δ_i — погрешность i -го звена размерной цепи; m — общее количество звеньев размерной цепи (включая замыкающее звено).

Это второе основное уравнение размерной цепи, из которого можно сделать вывод, что погрешность замыкающего звена характеризует точность размерной цепи и что эту погрешность можно определить только в том случае, если известны погрешности отдельных звеньев размерной цепи.

Получение любого звена в качестве замыкающего зависит от порядка обработки или сборки деталей в сборочные единицы. Наиболее просто размерная цепь рассчитывается в случае, когда ставится задача найти замыкающий размер по имеющимся или заданным составляющим размерам. При решении технологических размерных цепей составляющие размеры почти всегда находят по заданным значениям замыкающего размера.

Решение уравнения (38) размерной цепи, согласно которому допуск замыкающего звена равняется сумме допусков составляющих звеньев, принято называть решением на максимум-минимум. При решении размерных цепей по этому способу получаются завышенные величины допуска замыкающего звена. Следовательно, при заданной величине допуска замыкающего звена потребуется излишне высокая точность остальных звеньев. Это объясняется тем, что в расчетах на максимум-минимум не учитывается случайный характер отклонений размеров обрабатываемых деталей.

Метод, предложенный академиком Н. А. Бородачевым, является более совершенным. По этому методу расчет допусков размерных цепей производится с использованием теории вероятностей. Допуск замыкающего звена определяется по формуле

$$\delta = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2 k_i^2} , \quad (40)$$

где δ_i — половина величины поля допуска данного звена, мм; k_i — коэффициент относительного рассеивания размеров.

Если рассеивание погрешностей отклонений подчиняется закону нормальных распределений, то $k_i = 1$, и допуск замыкающего звена

$$\delta = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2} \text{ мм.} \quad (41)$$

Расчет размерных цепей по методу академика Н. А. Бородачева позволяет увеличить допуски на каждое звено размерной цепи в 1,5—2 раза, что значительно снижает себестоимость обработки деталей.

Глава 2

УСТАНОВКА И БАЗИРОВАНИЕ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ, СБОРКИ И КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ

2.1. Поверхности и базы обрабатываемых на станках заготовок деталей

Если технологическим процессом изготовления детали предусмотрена механическая обработка ее заготовки, то последнюю необходимо установить на станке. *Установка* — это процесс базирования и закрепления заготовки или изделия.

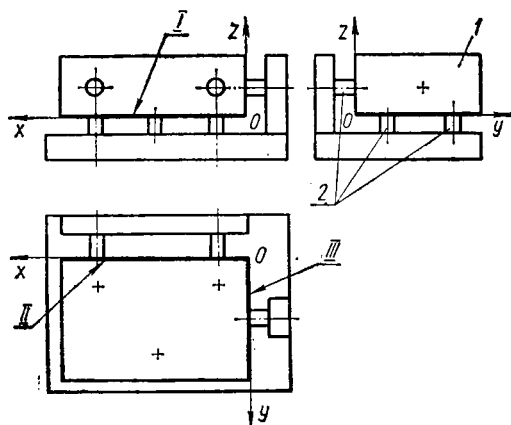


Рис. 13. Пример расположения баз на заготовке:

I — установочная база заготовки, лишающая ее перемещения вдоль оси *Z* и поворотов вокруг осей *X* и *Y*; *II* — направляющая база заготовки, лишающая ее перемещения вдоль оси *Y* и поворота вокруг оси *Z*; *III* — опорная база заготовки, лишающая ее перемещения вдоль оси *X*; *1* — заготовка; *2* — опоры приспособления

У заготовок деталей, устанавливаемых для обработки на станках, различают следующие поверхности: обрабатываемые, с которых удаляется определенный заданный слой материала в процессе резания или деформации; установочные, по которым осуществляется базирование и закрепление заготовки на станке; зажимные, которые воспринимают усилия (силы) при зажатии заготовки; измерительные, от которых осуществляется отсчет размеров после выполненного прохода или операции; необработанные.

Базой называется поверхность или выполняющие ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования. База может быть проектной, т. е. выбранной при проектировании изделия, технологического процесса изготовления или ремонта этого изделия, и действительной, т. е. фактически используемой в конструкции, при изготовлении, эксплуатации или ремонте изделия.

В машиностроении базы делят на виды по их назначению, лишаемым степеням свободы и характеру проявления. По назначению базы бывают конструкторские, технологические и измерительные.

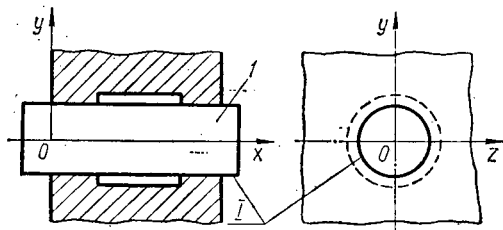
Конструкторские — это базы, которые используются для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. В свою очередь, они подразделяются на основные и вспомогательные. Под основной базой подразумевается конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии. Под вспомогательной базой подразумевается конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения положения присоединяемого к ним изделия.

Технологические базы — это те базы, которые используются для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта.

Измерительные базы — это базы, которые используются для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

Рис. 14. Пример двойной направляющей базы:

I — двойная направляющая база детали, лишающая ее перемещений вдоль осей Y и Z и поворотов вокруг осей Y и Z ; *I* — деталь



По лишаемым степеням свободы базы подразделяются на:

установочную, лишающую заготовку или изделие трех степеней свободы — перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей;

направляющую, лишающую заготовку или изделие двух степеней свободы — перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси;

опорную, лишающую заготовку или изделие одной степени свободы — перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси (рис. 13);

двойную направляющую, лишающую заготовку или изделие четырех степеней свободы — перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей (рис. 14);

двойную опорную, лишающую заготовку или изделие двух степеней свободы — перемещений вдоль двух координатных осей (рис. 15).

По характеру проявления базы могут быть скрытыми и явными.

Скрытая база заготовки изделия представляется в виде воображаемой плоскости, оси или точки.

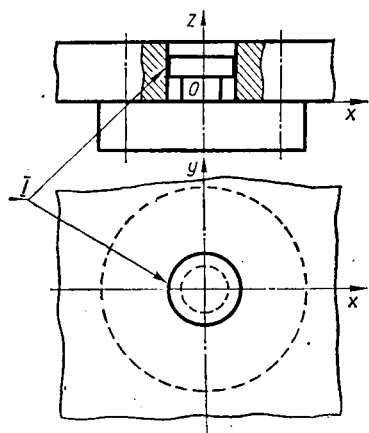


Рис. 15. Пример двойной опорной базы:

I — двойная опорная база детали, лишающая ее перемещений вдоль осей X и Y ; *I* — деталь

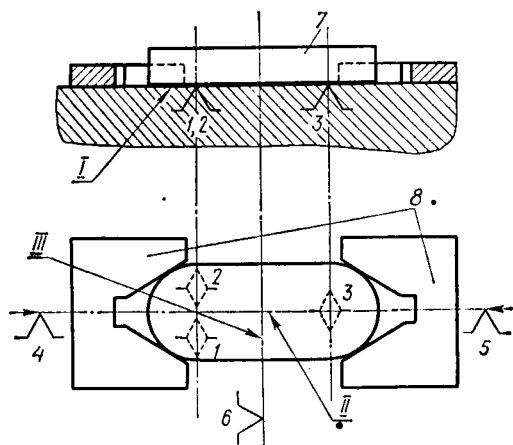


Рис. 16. Пример скрытой и явной баз:

I — установочная явная база заготовки; *II* — направляющая скрытая база заготовки; *III* — опорная скрытая база заготовки; 1, 2, 3, 4, 5, 6 — опорные точки; 7 — заготовка; 8 — губки самоцентрирующих тисков

Явная база заготовки или изделия представляется в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисков (рис. 16).

Эксплуатационные показатели машин во многом определяются точностью изготовления отдельных деталей и сборки, поэтому к установочным базам, ориентирующим деталь в определенном положении относительно станка (приспособления), режущего или другого рабочего инструмента, должны предъявляться особые требования.

В качестве установочных баз используют плоские поверхности, внутренние и наружные цилиндрические поверхности, поверхности центровых отверстий, конические, криволинейные, торцовые и другие как обработанные, так и необработанные поверхности.

Необработанные поверхности рекомендуется принимать в качестве баз только при начальных операциях обработки. Такие поверхности условно принято называть черновыми базами. Правильный выбор черновых баз существенно влияет на выполнение технологического процесса, так как позволяет исключить смещение заготовки детали при установке и появление связанного с этим брака. Исходя из этого, при выборе черновой базы следует учитывать такие основные положения: 1) в качестве черновой базы необходимо выбирать поверхности, относительно которой при первой операции могут быть обработаны поверхности, используемые при дальнейших операциях как технологические базы; 2) черновая база должна использоваться при обработке заготовки только один раз при выполнении первой операции. Это объясняется тем, что точность необработанных поверхностей, используемых в качестве черновых баз, ниже точности обработанных поверхностей; 3) поверхности, используемые в качестве черновых баз, должны быть ровными и чистыми, точной формы и размеров, на них не должны располагаться разъемы литейных форм и штампов, прибыли и литники; 4) поверхности, используемые в качестве черновых баз, должны иметь минимальное и притом одинаковое для всех заготовок смещение относительно других поверхностей, подлежащих обработке; 5) если у детали обрабатываются не все поверхности, в качестве черновой базы необходимо принимать поверхности, не подлежащие обработке. Это позволит обеспечить правильное взаимное расположение обработанных поверхностей относительно необработанных; 6) если у детали обрабатываются все поверхности, то в качестве базировочной следует принимать ту поверхность, которая имеет наименьший припуск. Это позволит избежать появления черноты на обрабатываемых поверхностях.

Обработанные поверхности, которые служат базами для последующих операций, называются чистовыми базами. При выборе чистовых баз необходимо руководствоваться следующими положениями: 1) надо стремиться к тому, чтобы выбранные за базу поверхности могли быть использованы в качестве базы для всех или большинства операций обработки детали; 2) в качестве чистовой базировочной поверхности следует принимать ту поверхность, от которой дан точный размер с допуском, определяющий положение данной обрабатываемой поверхности; 3) базировочные поверхности должны быть по своим размерам и форме такими, чтобы обеспечить простое и надежное крепление де-

талей в приспособлении с удобной установкой и снятием их, не допускать деформаций детали от усилий, возникающих при ее закреплении и в процессе резания; 4) выбранная чистовая база не должна вызывать потребности в применении сложных, дорогостоящих приспособлений.

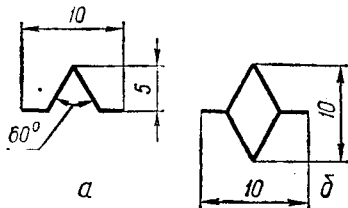
2.2. Базирование и закрепление заготовок

Базирование — это придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат. В зависимости от того, какие технологические задачи решаются в процессе обработки, при базировании заготовки в приспособлении или на станке может быть использована одна, две или три базы, имеющие на себе в общей сложности три, четыре, пять или шесть опорных точек. Под опорной точкой подразумевается точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделия с избранной системой координат.

На контурных линиях поверхностей, избранных для базирования деталей, проставляют условное изображение опорных точек или опор (рис. 17).

При оформлении технологической документации на операционных эскизах обрабатываемых заготовок все поверхности, назначенные для базирования, отмечают условными знаками (сплошная основная линия) с указанием числа опорных точек данной поверхности.

Схему расположения опорных точек на базах заготовки или изделия называют схемой базирования. Все опорные точки на схеме базирования изображают условными знаками, изображенными на рис. 17, и нумеруют порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагается наибольшее количество опорных точек. При наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую (рис. 18) изображается одна точка и около нее проставляют номера совмещенных точек. Число проекций заготовки на схеме базирования должно быть минимальным, но достаточным для четкого представления о размещении опорных точек. В тех случаях, когда зажим заготовки совмещается с опорой, что бывает при использовании для закрепления заготовки кулачкового патрона или разжимной оправки, на операционных эскизах можно



Фиг. 17. Условное изображение опорных точек:

а — на виде спереди и сбоку; б — на виде сверху

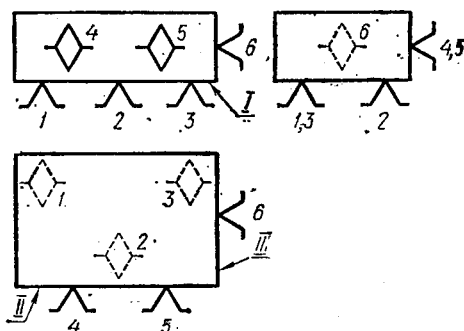


Рис. 18. Схема базирования призматической детали:

I, II, III — базы детали; 1, 2, 3, 4, 5, 6 — опорные точки

указывать не только опорные точки на базах, но и направление усилий зажимов.

Требуемая точность детали может быть получена, если наряду с другими условиями ее заготовки при обработке в приспособлении будет обеспечена полная неподвижность за счет надежного закрепления.

Закрепление — это приложение сил и пар сил к заготовке или изделию для обеспечения постоянства их положения, достигнутого при базировании. В отличие от базирования заготовки, когда на нее накладывается определенное число связей, и она соответственно лишается трех, четырех, пяти или шести степеней свободы, во всех случаях закрепления заготовка должна лишаться шести степеней свободы.

Обеспечивается это применением различных по конструкции механических, гидравлических, пневматических, электрических, вакуумных и других зажимных устройств, основанных на использовании сил трения в местах контакта зажимных элементов и заготовки. С помощью зажимных устройств приспособлений создается постоянство контакта баз с опорными точками, т. е. обеспечивается правильное базирование заготовки и неподвижность ее в процессе обработки — решается задача надежного закрепления.

2.3. Принципы постоянства и совмещения баз, последовательность выполнения операций

База определяет положение обрабатываемой детали в приспособлении относительно направления рабочего движения режущего инструмента, и погрешности при базировании неизбежно будут влиять на получение правильной геометрической формы изготавливаемой детали и заданных расстояний между обрабатываемыми поверхностями. Исходя из этого, наибольшей точности обработки детали можно достигнуть в том случае, если весь процесс обработки производить с одной базы и с одной установкой. Только такое условие позволит исключить внесение ошибки во взаимное расположение обрабатываемых поверхностей, неизбежно связанных с каждой новой установкой.

Однако выполнить такое условие практически очень трудно, так как большинство деталей машин полностью обрабатывается не на одном станке, а на нескольких и притом различных по своему назначению. Поэтому для достижения наибольшей точности необходимо стремиться к тому, чтобы все операции технологического процесса, т. е. дальнейшие установки как на одном и том же станке, так и на всех остальных, производились по возможности на одной и той же базе. Это условие или принцип в машиностроении называют принципом постоянства базы, который заключается в том, что для выполнения всех операций обработки детали используют одну и ту же базу.

В тех случаях, когда соблюдение этого принципа невозможно, т. е. по характеру обработки нельзя для выполнения всех операций использовать одну и ту же базу, необходимо принять за базу другую поверхность. Эта поверхность, принимаемая в качестве новой базы, должна быть обработанной и определяться точными размерами по от-

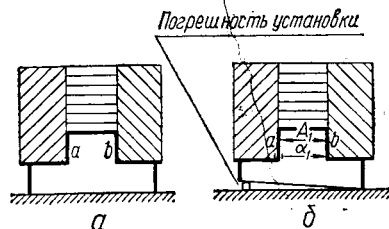


Рис. 19. Схема одновременной обработки набором фрез:

а — при отсутствии погрешности установки; *б* — при наличии погрешности установки

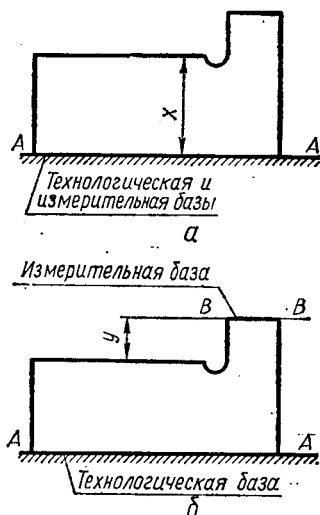


Рис. 20. Технологическая и измерительная базы

ношению к поверхностям, наиболее влияющим на работу детали в собранной машине.

Процессу обработки детали с одной установки свойственна одна особенность, которая заключается в исключении какого бы то ни было влияния погрешностей установки детали на относительное положение поверхностей, обработанных с одной установки. Это можно иллюстрировать схемой одновременной обработки пяти поверхностей детали набором фрез (рис. 19). В данном случае видно, что относительное положение обрабатываемых поверхностей не меняется при наличии погрешностей установки, так как параллельность, характеризующая величиной α_1 , и расстояние A_1 поверхности *а* относительно поверхности *б* остались неизменными.

При выборе баз различного назначения надо стремиться использовать одну и ту же поверхность в качестве различных баз, так как это тоже способствует повышению точности обработки. Речь идет о том, чтобы все поверхности детали не только обработать с использованием одной базы, но и измерить их относительные повороты и связывающие размеры от этой же базы, т. е. необходимо стремиться к тому, чтобы в качестве измерительной использовать технологическую базу.

Еще большей точности можно достигнуть в том случае, если конструкторская база является одновременно технологической и измерительной. В этом заключается принцип единства баз.

Решение вопроса о возможности использования технологической базы в качестве измерительной в значительной степени зависит от того, какой размер детали должен быть точно выдержан и от какой поверхности при измерении может быть произведен отсчет размера. Например, если нам необходимо у детали (рис. 20) выдерживать точно размер *х*, то можно технологическую и измерительную базы совместить (рис. 20, *а*). На рис. 20, *б* точно выдерживается размер *у*, отсчитываемый от поверхности *В* — *В*, которая, следовательно, является измеритель-

ной базой. Технологической же базой по-прежнему служит поверхность $A - A$, на которую в обоих случаях устанавливается обрабатываемая деталь.

С целью наиболее полного использования принципа единства баз необходимо не только стремиться использовать одни и те же поверхности в качестве технологических и измерительных баз на различных операциях, но, что не менее важно, даже одни и те же участки или точки поверхностей.

Требуемая точность обработки детали может быть получена в том случае, если будет обеспечено плотное прилегание обрабатываемой детали к опорным поверхностям приспособления или станка. Это достигается соответствующими устройствами, которые должны закреплять деталь достаточно жестко, но не деформировать ее. Для исключения деформаций детали при зажиме необходимо зажимным силам противопоставить реакции опор, располагаемых так, чтобы обрабатываемые поверхности были жестко подперты и чтобы силы зажатия создавали в обрабатываемой детали только напряжения сжатия. В основу расчета силы зажатия должна быть положена величина усилия резания с учетом ее направления и точки приложения.

Обработка детали должна начинаться с поверхности, которая будет служить технологической базой для дальнейших операций. Для выполнения первой операции необходимо в качестве черновой базы выбрать необработанную поверхность, которая должна быть по возможности чистой, гладкой и ровной, без заусенцев и уклонов. Если на заготовке детали нет поверхностей, удовлетворяющих этим условиям, то технолог обязан назначить специальные так называемые дополнительные технологические базы в виде бобышек, приливов, привариваемых планок и т. п., на которых деталь базируется при обработке поверхности, используемой при выполнении других операций в качестве основной технологической базы.

Имея подготовленную технологическую базу, можно приступить к обработке остальных поверхностей в определенной последовательности, имея в виду при этом, что обработка каждой последующей поверхности может искажать ранее обработанную поверхность. Причиной искажений обычно являются перераспределения внутренних напряжений в материале, вызываемые снятием определенного слоя металла режущим инструментом. Исходя из этого явления, технологический процесс механической обработки необходимо разрабатывать так, чтобы вначале обрабатывались поверхности, к точности которых предъявляются меньшие требования, а потом поверхности, которые должны быть более точными. Последней, как правило, обрабатывается поверхность, к точности которой предъявляются наибольшие требования и которая имеет наибольшее значение для работы детали в собранной машине. Иногда условия обработки вызывают необходимость эту поверхность обработать раньше, что и безусловно осуществляется, однако после обработки всех остальных поверхностей эту поверхность надо повторно обработать для выверки и придания ей окончательного размера. В качестве примера можно привести обработку зубчатых колес, которую начинают с внутреннего центрального отверстия —

как базы для всех дальнейших операций. Но так как отверстие является основной базой, и поверхность сопрягается с наружной поверхностью вала, с которым колесо работает в собранной машине, то последней операцией при обработке зубчатого колеса является шлифование внутреннего центрального отверстия.

Если при выполнении некоторых операций есть опасность получения брака из-за специфических условий обработки, то эти операции следует выполнять вначале процесса обработки, по возможности раньше, благодаря чему в случае брака будет устранена лишняя работа.

В условиях автоматизированного производства при выборе технологических баз и способов крепления детали при ее механической обработке необходимо учитывать некоторые особенности: 1) черновые базы в заготовке детали должны быть выполнены в пределах заданных допусков и должны обеспечить правильную установку заготовки в приспособлении без разметки и правильную обработку поверхностей, являющихся постоянными базами для всей последующей обработки детали; 2) на первых операциях (одной или двух) должны быть созданы единые постоянные базы, служащие для установки детали в приспособлении при всей последующей ее обработке; 3) наилучшим следует считать тот процесс механической обработки, при котором все операции (после первых) выполняются при установке детали в приспособлении на одни и те же базы; 4) усилие зажима детали в приспособлении необходимо назначать такое, чтобы деформация от зажимов на черновых операциях обработки была в пределах допусков на черновую обработку, а на чистовых — вообще исключалась.

2.4. Способы установки деталей при механической обработке их на металлорежущих станках

При обработке деталей на металлорежущих станках установку их можно осуществить непосредственно на столе станка с применением простейших средств крепления и выверкой правильности ее положения с помощью измерительных инструментов, а также в нормальных и специальных зажимных приспособлениях. Установка детали непосредственно на столе станка и в нормальных зажимных приспособлениях применяется, главным образом, в единичном и мелкосерийном производстве. Может также применяться и в серийном производстве при обработке крупногабаритных деталей. Например, направляющие станины, корпуса больших редукторов и т. п. В этом случае применяется и соответствующее оборудование для обработки, например, карусельные или лоботокарные станки при обтачивании, горизонтально-расточные — при растачивании, продольно-строгальные и фрезерные — при обработке плоских поверхностей. Положение детали на этих станках регулируется в соответствии с требованиями получения нужных поверхностей с помощью простейших средств в виде прихватов, прокладок, планок, спецболтов и т. п., а выверка достигается с помощью рейсмуса, штангенциркуля, угольника и других измерительных инструментов. Если обработке подлежат сложные дорогостоящие детали, очень часто практикуется применение операции раз-

метки, т. е. нанесение на окрашенных или покрытых мелом поверхностей заготовки линий, ограничивающих размеры срезаемого слоя металла и определяющих получение требуемых размеров при обработке. В некоторых случаях ограничивающие линии не проводят, а делают накернивание их рядом точек. Разметка облегчает и сокращает время на установку детали на станке. Однако операция разметки является трудоемкой и требует дополнительных рабочих-разметчиков.

К недостаткам способа установки деталей на столе станка можно отнести: трудность выполнения точного базирования детали, а следовательно, и получения точных размеров; большая затрата времени на установку детали; необходимость в содержании станочника высокой квалификации и с определенным опытом по установке деталей на станке. Точность обработки деталей с предварительной разметкой обрабатываемых поверхностей не превышает 0,3—0,4 мм.

Причиной получаемых погрешностей являются неточности при нанесении разметочных линий или точек при накернивании и различная их толщина. Слой металла в процессе обработки срезается посередине разметочных линий или кернов, что создает предпосылки для появления погрешностей. Таким образом, если обрабатываемая деталь относительно большая и величина ее допуска больше суммарной погрешности, получаемой при ее обработке, то способ непосредственного крепления детали на столе станка экономически оправдан.

Нормальные зажимные приспособления — это приспособления, которыми снабжены те или другие металлорежущие станки. К ним относятся: самоцентрирующие трехкулачковые патроны, центры токарных станков, четырехкулачковые патроны, планшайбы, параллельные тиски на строгальных и фрезерных станках и т. п. Применение того или иного вида нормального зажимного приспособления зависит от характера, точности и конфигурации заготовки. По сравнению с установкой детали непосредственно на столе станка применение нормальных зажимных приспособлений для закрепления детали имеет следующие преимущества: относительно большая точность базирования детали; сокращение времени на установку детали; возможность сократить поле допусков на обработку детали.

Наиболее точное базирование детали при установке обеспечивают специальные зажимные приспособления, в конструкции которых учтена конфигурация и размеры обрабатываемых деталей. Преимущества специальных зажимных приспособлений заключаются в минимальной затрате времени на установку заготовки без предварительной ее разметки и выверки, обеспечении более высокой точности обработки и создании предпосылок для автоматизации процесса обработки.

В качестве недостатка следует отметить затрату определенного времени на проектирование и изготовление специального приспособления, что может сказаться на длительности подготовки производства при невысокой его организации. Во всех случаях критерием для оценки выгодности применения того или иного способа установки детали должна быть экономическая эффективность с учетом обеспечения повышенной точности обработки, характера производства, требований производительности и облегчения условий труда рабочих.

2.5. Схемы базирования деталей. Правило шести точек

При обработке деталей на различных технологических системах каждую деталь, как правило, необходимо установить и закрепить с определенной точностью на столе станка или в приспособлении.

Из теоретической механики известно, что каждое свободное твердое тело имеет шесть степеней свободы относительно трех координатных перпендикулярных осей X , Y , Z , а именно, оно может перемещаться вдоль (или параллельно) этих произвольно выбранных осей и вращаться вокруг каждой из них (рис. 21).

Лишить деталь (тело) каждой из шести степеней свободы можно, прижав ее к соответственно расположенной неподвижной точке приспособления (или стола станка). Такая неподвижная точка приспособления носит название одноточечной опоры. Каждая неподвижная одноточечная опора лишает деталь одной степени свободы, т. е. возможности перемещения ее по направлению нормали к поверхности детали в точке опоры.

Для того чтобы лишить деталь всех шести степеней свободы, следует обеспечить силовой контакт поверхностей детали в приспособлении с шестью неподвижными точками. В этом и заключается правило шести точек или шести степеней свободы.

Эти шесть точек должны быть расположены в трех взаимно перпендикулярных плоскостях: три опорные точки 1, 2, 3 в плоскости XOZ , две точки 4 и 5 в плоскости YOZ и одна точка 6 в плоскости XOY .

Три точки 1, 2, 3 определяют положение детали относительно плоскости XOZ , а именно: лишают деталь возможности вращения вокруг осей X и Z и перемещения ее вдоль или в направлении оси Y .

Две точки 4 и 5 определяют положение детали относительно плоскости YOZ , а именно: лишают деталь возможности перемещения вдоль или в направлении оси X и возможности ее вращения вокруг оси Y . Таким образом, точки 4 и 5 лишают деталь еще двух степеней свободы. Одна точка 6 определяет положение детали относительно плоскости XOY , лишая деталь возможности перемещаться в направлении оси Z . Таким образом, одна точка 6 лишает деталь еще одной последней степени свободы.

Следовательно, для определения положения детали (тела) в пространстве необходимо и достаточно иметь шесть опорных точек, расположенных в трех взаимно перпендикулярных плоскостях: 1, 2 и 3 точки определяют установочную плоскость, 4 и 5 точки — направляющую плоскость; 6 — опорную плоскость.

При большем числе неподвижных опор деталь опирается не на все опоры, а если все

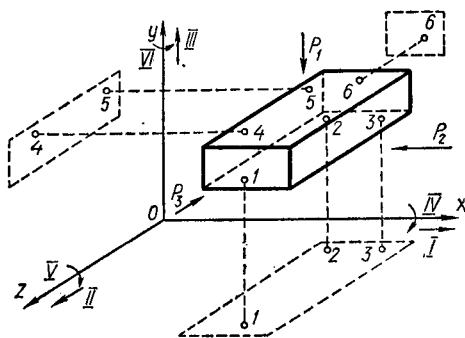


Рис. 21. Схема базирования детали (правило шести точек)

же она будет искусственно прижата (притянута) ко всем неподвижным опорам, то она будет деформироваться под действием зажимов.

Отсюда вывод, что для определения положения детали, рассматриваемой как абсолютно жесткое тело, не только необходимо, но и достаточно шести опорных точек или опор.

Из курса механики известно, что твердое тело, установленное на три точки, приобретает под действием силы тяжести тем большую точность положения и устойчивость, чем дальше опорные точки расположены одна от другой. Это необходимо учитывать при выборе установочной поверхности у детали, т. е. создавать ее или выбирать ту из поверхностей, которая отличается наибольшими габаритными размерами.

Направляющая плоскость свое название получила вследствие того, что через размещенные на ней две опорные точки можно провести прямую линию, определяющую относительное направление. В качестве направляющей поверхности детали создается или выбирается поверхность, отличающаяся наибольшей протяженностью (длиной) при наименьшей ширине.

Для размещения одной опорной точки, очевидно, больших поверхностей не требуется, поэтому в качестве опорной поверхности создается или выбирается поверхность с малыми габаритными размерами. Для деталей с плоскими поверхностями три опорные точки могут быть заменены плоскостью.

В зависимости от числа и направления размеров, выдерживаемых при выполнении данной операции, технологическая база может состоять из одной, двух или трех базирующих поверхностей. В этом случае деталь соответственно лишается трех, четырех или шести степеней свободы. Установка детали в центрах лишает ее пяти степеней свободы. Базирование длинной цилиндрической детали в призме лишает ее четырех степеней свободы.

Схема базирования, при которой деталь лишается всех шести степеней свободы, применяется в тех случаях, когда необходимо получить точные координирующие размеры в трех направлениях по осям X , Y , Z , и называется полной схемой базирования.

Упрощенная схема базирования применяется для получения точных координирующих размеров в двух или одном направлении. Исходя из этого и решается вопрос, скольких степеней свободы надо лишать эту или другую обрабатываемую деталь.

В принципе, при разработке схемы базирования следует учитывать, что чем больше опорных установочных точек должно иметь приспособление, тем сложнее оно становится по конструкции. Поэтому лишать деталь необходимо только тех степеней свободы, которые могут повлиять на точность обработки.

Ранее указывалось на необходимость различия у деталей машин номинальных, т. е. изображенных на чертеже поверхностей без учета допускаемых отклонений и реальных, образованных в процессе изготовления и отделяющих тело от окружающей среды. Реальные поверхности всегда имеют неровности в виде выступов и впадин различных по форме, размерам и расстояниям между ними.

Под *шероховатостью* подразумевается совокупность неровностей обработанной поверхности с относительно малыми шагами. Шероховатость поверхности определяется по ее профилю, который образуется в сечении этой поверхности плоскостью, перпендикулярной к номинальной поверхности. При этом профиль необходимо рассматривать на длине базовой линии, в качестве которой служит средняя линия профиля m .

Средней линией профиля t называется базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднеквадратическое отклонение профиля до этой линии минимально (рис. 22).

Базовой длиной l называется длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость, и для качественного определения ее параметров. Числовые значения базовой длины выбирают из ряда: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 8; 25 мм.

Более правильная оценка шероховатости будет в том случае, если длину участка измерений увеличить до нескольких базовых длин l . Необходимость в этом возникает из-за возможной неоднородности строения неровности и погрешности при измерениях. За конечный результат измерений берется среднее арифметическое из результатов

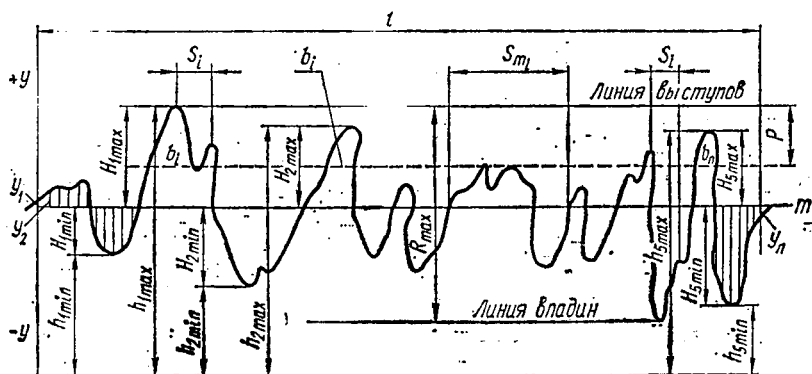


Рис. 22. Схема измерения неровностей

измерений шероховатости нескольких участков с базовой длиной каждого, равной l .

Линии, эквидистантные средней линии и проходящие через высшую и низшую точку профиля в пределах базовой длины, принято называть линией выступов и линией впадин профиля.

Наибольшая высота $R_{\max}$ неровностей профиля равна расстоянию между линией выступов и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

Длина отрезка средней линии, пересекающего профиль в трех соседних точках и ограниченного двумя крайними точками, называется шагом неровностей профиля. Средний шаг S_m неровностей профиля представляет собой среднее арифметическое шага неровностей профиля в пределах базовой длины. Средний шаг S неровностей профиля по вершинам представляет собой среднее арифметическое шага неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины.

Для количественной оценки шероховатости обработанных поверхностей деталей в настоящее время широко применяются такие критерии, как высота неровностей R_z по десяти точкам и среднее арифметическое отклонение R_a профиля.

Высота неровностей R_z профиля по десяти точкам определяется суммой средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших минимумов $H_{i\min}$ и пяти наибольших максимумов $H_{i\max}$ профиля в пределах базовой длины:

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |H_{i\max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i\min}| \right). \quad (42)$$

Для средней линии, имеющей форму отрезка прямой,

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 h_{i\max} - \sum_{i=1}^5 h_{i\min} \right), \quad (43)$$

где $h_{i\max}$ — расстояние от высших точек пяти наибольших максимумов до линии, параллельной средней и не пересекающей профиль; $h_{i\min}$ — расстояние от низших точек пяти наибольших минимумов до этой же линии.

Среднее арифметическое отклонение R_a профиля представляет собой среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины l .

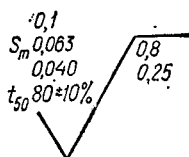
$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (44)$$

или приближенно

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (45)$$

где y — отклонение профиля, определяемое расстоянием между любой точкой профиля и средней линией и измеренное по нормали к средней линии через эту точку.

Рис. 23. Пример обозначения шероховатости при указании двух и более параметров



Так как режущие кромки инструмента оставляют на обработанной поверхности неровности в виде впадин и выступов, то фактическая поверхность сопряжения детали в сопряжении с другой будет отличаться от расчетной [19, 27]. Это влияет на величину многих эксплуатационных показателей качества поверхности и учитывается критерием η_p . Опорная длина t_p профиля определяется суммой отрезков в пределах базовой длины, отсекаемых на заданном уровне в материале выступов профиля линией, эквидистантной средней линии.

Для сопоставления размеров опорных поверхностей, полученных обработкой различными методами, рекомендуется пользоваться относительной опорной длиной t_p профиля, определяемой отношением опорной длины профиля к базовой длине, т. е.

$$t_p = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i, \quad (46)$$

где b_i — длина отрезка, отсекаемого в материале выступов профиля.

Как опорная длина профиля t_p , так и относительная опорная длина профиля t_p устанавливаются на требуемом уровне сечения P профиля, который определяется расстоянием между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля.

В таблицах ГОСТ 2789—73 приведены значения R_a , R_z , S_m , m , t_p , а в ГОСТ 2.309—73 дополнительно установлены требования к направлению неровностей поверхности. Эти характеристики шероховатости поверхности указываются на чертежах, используя для этого условное изображение (рис. 23).

Среднее арифметическое отклонение R_a указывают цифрой без дополнительного символа, например, 0,5. Числовые значения остальных параметров проставляют после соответствующих символов, например: R_z 32; R_{max} 6,3; S_m 0,63; S 0,032; t_{50} 70, т. е. относительная опорная длина t_p профиля равна 70% при уровне сечения профиля $P = 50\%$.

Числовое значение шероховатости поверхности ограничивает только наибольшую величину по параметрам R_a и R_z . В случае необходимости ограничения и наименьшей величины шероховатости указываются оба значения параметра: $\frac{2,5}{1,25}$ или $\frac{R_z 20}{1,0}$.

Поверхности в состоянии поставки или с обработкой без снятия стружки обозначают символом $\sqrt{}$, а с обработкой со снятием стружки — символом $\sqrt{}/$.

Способы обработки поверхностей необходимо указывать только в случаях, когда они являются единственными, гарантирующими требуемое качество поверхности, например:

$$\frac{1,25}{\sqrt{}} \frac{\text{шлифовать}}{0,8}$$

Таблица 1

Класс шероховатости поверхности	Разряд	R_a , мкм	R_z , мкм	Базовая длина l , мм
1	—	—	320—160	8
2	—	—	160—80	
3	—	—	80—40	
4	—	—	40—20	2,5
5	—	—	20—10	
6	а	2,5—2,0	—	
	б	2,0—1,6	—	0,8
	в	1,6—1,25	—	
7	а	1,25—1,0	—	
	б	1,0—0,80	—	
	в	0,80—0,63	—	
8	а	0,63—0,50	—	
	б	0,50—0,40	—	
	в	0,40—0,32	—	
9	а	0,32—0,25	—	0,25
	б	0,25—0,20	—	
	в	0,20—0,16	—	
10	а	0,16—0,125	—	0,25
	б	0,125—0,100	—	
	в	0,100—0,080	—	
11	а	0,080—0,063	—	0,25
	б	0,063—0,050	—	
	в	0,050—0,040	—	
12	а	0,040—0,032	—	0,25
	б	0,032—0,025	—	
	в	0,025—0,020	—	
13	а	—	0,100—0,080	0,08
	б	—	0,080—0,063	
	в	—	0,063—0,050	
14	а	—	0,050—0,040	0,08
	б	—	0,040—0,032	
	в	—	0,032—0,025	

При указании двух или более параметров в обозначении шероховатости значения их записывают сверху вниз в следующем порядке: параметр высоты неровностей профиля; параметр шага неровностей профиля; относительная опорная длина профиля.

Если на чертежах приходится указывать только высоты неровностей, т. е. R_a , R_z , $R_{\max}$, или средний шаг их S и относительную опорную длину t_p профиля, то в таких случаях следует шероховатость указывать знаком без полки R_{z40} , R_{z25} и т. д.

Для поверхностей различного эксплуатационного назначения шероховатости устанавливают по одному или нескольким параметрам.

Для 6—12-го классов шероховатости основной является шкала R_a , а для 1—5, 13 и 14-го классов — шкала R_z , 6—14-е классы делят на три разряда а, б, в (табл. 1). Это вызвано необходимостью однозначного определения класса шероховатости при различных методах контроля. Требования к шероховатости поверхности устанавливают без учета ее дефектов (царапин, раковин и т. п.).

Волнистость поверхности рассматривается как периодически повторяющиеся и близкие по размерам неровности, расстояние между которыми значительно больше, чем у шероховатостей.

Волнистость поверхности в настоящее время не стандартизована — имеются только проекты в разных странах. В 1952 г. была предложена градация волнистости только по высоте. Этой градацией предусматривалось девять классов в диапазоне от 1 до 250 мкм, причем последний класс включал высоты волн от 250 мкм и выше. Если высота волн значительная, то это приводит к резкому уменьшению фактической площади контакта в сопряжениях, увеличенному износу, ослаблению прессовых соединений, нарушению герметичности и другим негативным явлениям. Причинами получения волнистой поверхности в большинстве случаев являются колебания станка, инструмента или детали. Волнистость, полученная на предыдущей операции или проходе, может служить источником колебаний на последующих операциях или проходах.

Физико-механическое состояние поверхностного слоя после механической обработки детали характеризуется степенью наклепа, его глубиной, структурой и остаточными напряжениями в этом слое. Все эти характеристики зависят от величины пластических деформаций, сопровождающихся измельчением и вытягиванием кристаллических зерен в направлении деформации, искривлением плоскостей скольжения, искажением кристаллической решетки и другими негативными явлениями для целостности поверхностного слоя, а также от фазовых и структурных превращений, обусловленных тепловыми явлениями, неизбежными при резании металлов.

3.2. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин

Качеством обработанной поверхности определяются основные эксплуатационные характеристики деталей, к которым можно отнести: износостойкость поверхностей трущихся пар, характер посадок, усталостную прочность при знакопеременных нагрузках, антикоррозионную стойкость, аэро- и гидродинамические свойства обдуваемых газом или обтекаемых жидкостью поверхностей.

Под износостойкостью детали подразумевается способность ее поверхностного слоя сопротивляться разрушению при трении о соприкасающуюся поверхность другой детали.

Наличие на трущихся поверхностях неровностей в виде выступов и впадин приводит к тому, что их контакт происходит по вершинам выступов. Фактическая поверхность контакта составляет небольшой процент от расчетной, поэтому контактируемые вершины неровностей

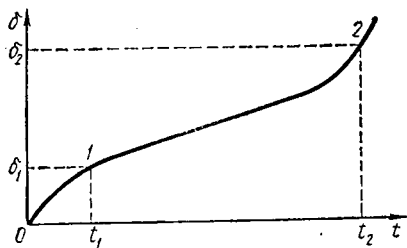


Рис. 24. Принципиальная схема износа

увеличение зазоров трущихся пар. Интенсивный начальный износ наблюдается до момента так называемой приработки, т. е. состояния, когда неровности сглаживаются и суммарная площадь контакта увеличивается. Схема износа в координатах времени t и износа δ изображена на рис. 24.

Здесь участок $0-1$ представляет собой начальный износ, а участок $1-2$ — размерный износ, т. е. износ после приработки трущихся поверхностей. За точкой 2 износ опять начинает возрастать до момента разрушения сопряжения трущейся пары. Исследованиями проф. А. А. Маталина доказано, что повышенному начальному износу в некоторых случаях способствуют очаги высоких температур, мгновенно возникающие в точках контакта, а также моменты срыва поверхностной окисленной пленки. Эти условия благоприятствуют возникновению молекулярного сцепления трущихся металлов и образованию очагов схватывания на поверхностях. Таким образом, уменьшением высоты микронеровностей трущихся поверхностей обеспечивается большая их износостойкость. Однако наблюдения показывают, что во многих случаях очень гладкие поверхности подвергаются резкому возрастанию износа в связи с возникновением молекулярного сцепления и заеданий, обусловленных выдавливанием смазки и плохой смачиваемостью зеркально обработанных поверхностей. Отсюда вывод: существует какая-то оптимальная величина высоты неровностей, при которой износ в данных условиях изнашивания минимальный.

Значительная шероховатость поверхностей деталей машин, образующих подвижное соединение по определенной посадке, после непродолжительного периода работы переведет ее в более свободную посадку, т. е. приведет к нарушению условий работы деталей и возможному преждевременному их разрушению. При неподвижном соединении фактический натяг после напрессовки будет значительно меньше расчетного, что приводит к нарушению соединения, невозможности получить герметичность и т. п.

Как и всякие другие дефекты поверхности, шероховатость является местом концентрации напряжений и снижает тем самым прочность детали. Кроме того, грубо обработанные поверхности детали в большей степени подвергаются коррозии и трещинообразованию, так как вещества, вызывающие коррозию, осаждаются во впадинах и углублениях. Коррозия распространяется в направлении основания выступов (рис. 25).

подвергаются большим давлениям. Под действием этих давлений (иногда превышающих предел текучести и даже предел прочности) в точках контакта неподвижных соединений происходит смятие неровностей, а при взаимном перемещении контактируемых поверхностей вершины неровностей срезаются или отламываются, т. е. происходит интенсивный начальный износ и

Рис. 25. Схема распространения коррозии поверхностного слоя стальных деталей

В дальнейшем под действием силы трения выступы отрываются от поверхности, образуя новые впадины и выступы, т. е. новые очаги коррозии и разрушения. С уменьшением шероховатостей происходит повышение коррозионной стойкости. Прочность прессовых соединений, а также стабильность зазоров и натягов повышается.

Аэро- и гидродинамические свойства поверхности находятся в зависимости от величины неровностей на ней, так как при обтекании ее жидкостями или газами величина сопротивления движению их будет возрастать или уменьшаться.

В заключение можно сказать, что величина шероховатости, направление штрихов обработки, форма и шаг неровностей, размеры опорной поверхности и другие геометрические характеристики микрорельефа поверхности оказывают значительное влияние также на их контактную жесткость, отражательную способность, газовую эрозию, коэффициент теплопередачи. Правильно построенный и организованно выполняемый технологический процесс позволяет управлять геометрическими характеристиками микрорельефа, а значит — и качеством изделий.

3.3. Контроль качества поверхности обработанных деталей машин

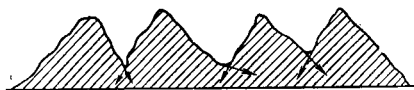
В настоящее время контроль качества обработанных поверхностей деталей осуществляется двумя принципиально различными методами — количественным и качественным.

Качественный метод называют еще методом сравнения, так как в его основу положен принцип сравнения полученной шероховатости с эталоном, характеристики которого известны. Метод сравнения субъективен и очень часто приводит к разногласиям в оценке шероховатости, если она осуществлялась несколькими контролерами.

Метод сравнения с эталоном получил большое распространение в цеховых производственных условиях, так как он обеспечивает требуемую производительность и достаточную точность, особенно, если для сопоставления с эталоном используются микроскопы.

Применяется два вида эталонов: исходные и рабочие. Исходные эталоны используются для проверки приборов и изготавливаются по наибольшему пределу высоты неровностей для данной шероховатости поверхности по стандарту. Рабочие эталоны используются для сравнения поверхностей непосредственно на рабочих местах. Их рекомендуется изготавливать по низшему пределу высоты неровностей для данной шероховатости, так как рабочий все равно стремится обработать поверхность выше эталона.

В труднодоступных местах шероховатость поверхностей с ошибкой до 5% можно определить методом снятия слепков, для чего используются такие материалы, как парафин, целлулоид, натуральный воск и другие легкоплавкие сплавы.



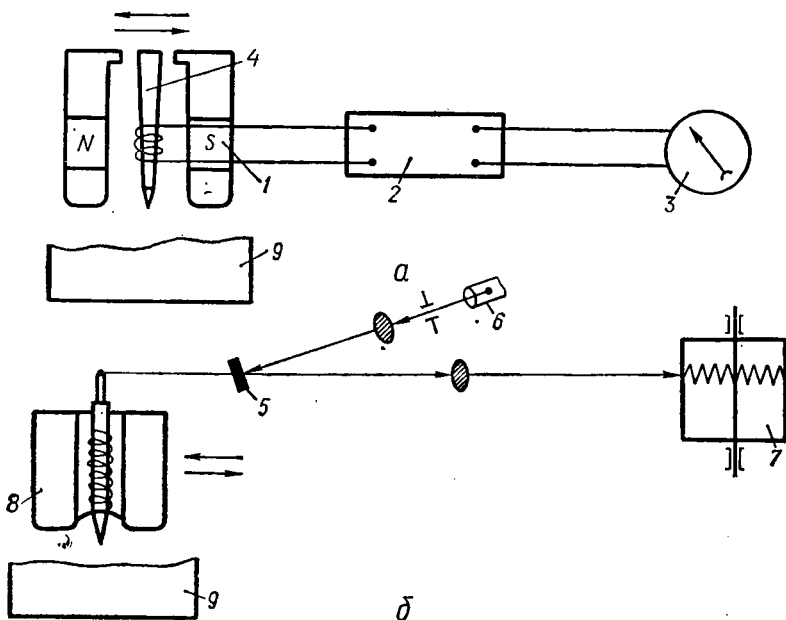


Рис. 26. Принципиальная схема работы
а — профилометра; б — профилографа

Количественный метод оценки качества (определение величины шероховатости в микрометрах) основан на измерении неровностей поверхности специальными приборами — микроскопами различных конструкций, профилометрами и профилографами.

Для аттестации рабочих эталонов и фотографирования высот неровностей у деталей с ответственными поверхностями используют микроинтерферометры модели МИИ-4, позволяющие измерять шероховатость поверхностей $R_z = 0,025 \div 0,6$ мкм.

Профилометры модели 253 предназначены для непосредственного показа среднего арифметического отклонения профиля поверхности R_a , а профилографы-профилометры моделей 201 и 252 — для записи профиля поверхности в виде профилограммы.

В работе профилометров и профилографов, выпускаемых заводом «Калибр», заложен принцип ощупывания исследуемой поверхности иглой с твердым наконечником (рис. 26).

У профилометра ощупывающая алмазная игла с радиусом закругления не более 12 мкм вставлена в стержень 4, на котором находится индуктивная катушка, помещенная между полюсами постоянного магнита 1. При колебании иглы в катушке возникает ток, величина которого тем больше, чем больше неровности. Ток через усилитель поступает в интегрирующий контур 2 и затем направляется в гальванометр 3, стрелка которого показывает параметр шероховатости.

У профилографа ощупывающая игла связана с зеркалом 5, на которое падает тонкий луч света от источника 6. При перемещении ощу-

пывающего устройства 8 по исследуемой поверхности 9 его игла совершает колебательные движения, передаваемые зеркалу 5. Отраженный от зеркала луч через систему зеркал направляется на вращающийся барабан 7 со светочувствительной бумагой, на которой и записывается увеличенная в несколько сот раз профилограмма, отображающая существующие неровности поверхности.

Профилометры-профилографы модели 202, выпускаемые заводом «Калибр», удовлетворяют требованиям по измерению параметров шероховатости. По специальным заказам к этой модели профилографа-профилометра заводом выпускается дополнительное устройство для измерения шероховатости криволинейных поверхностей с радиусом кривизны от 4 до 80 мм. С помощью оптических приборов светового сечения ПСС-2 и растровых измерительных микроскопов модели ОРИМ-1 можно измерять высотные параметры в пределах 0,8—80 мкм, а шаговые — 0,002—2,5 мм.

Для измерения параметров шероховатости наиболее точно обработанных поверхностей следует рекомендовать микроинтерферометры, действие которых основано на принципе интерференции света. Некоторые модели микроинтерферометров (МИИ-4) имеют устройства для фотографирования профиля. Прибор МИИ-10 может быть использован для измерения шероховатости поверхности в труднодоступных местах и у внутренних поверхностей. Микроинтерферометр МИИ-12 предназначен для измерения шероховатости с произвольным направлением неровностей (например, после хонингования, электрополирования и др.).

3.4. Влияние технологических факторов на качество поверхности

Профессор С. А. Картавов и группа авторов к основным факторам, влияющим на шероховатость поверхности, относят: состав, структуру и механические свойства обрабатываемого материала; материалы, геометрию, микрогеометрию и износ режущей части инструмента; режим резания; жесткость системы СПИД; количество, качество и способ подвода смазочно-охлаждающей жидкости.

При обработке заготовок из мягкой низкоуглеродистой стали получается более шероховатая поверхность, чем при обработке заготовок из твердой стали с большим содержанием углерода. Объясняется это большим содержанием феррита в низкоуглеродистой стали, который повышает склонность к наростообразованию. Нарост препятствует нормальному сходу стружки в процессе резания и повреждает поверхность в моменты его срыва. Заготовки с повышенным содержанием серы, присадок свинца и некоторых других элементов после обработки имеют менее шероховатую поверхность, чем заготовки из углеродистой стали.

Чугун с мелкопластинчатым перлитом имеет шероховатость меньше, чем ферритовый чугун или чугун с крупнопластинчатым перлитом и с большим количеством графита, так как графит способствует образованию стружки надлома.

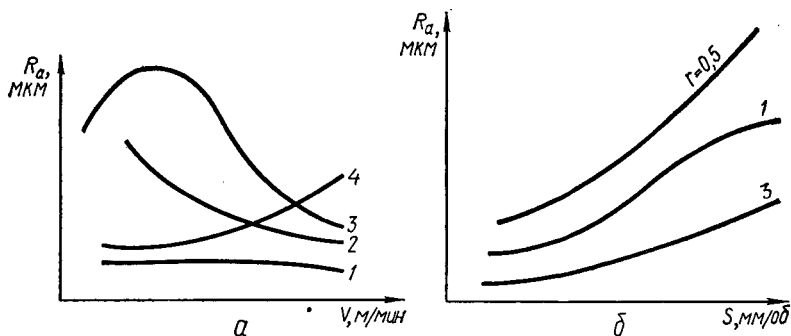


Рис. 27. Кривые зависимостей шероховатости поверхностей:
 a — от обрабатываемого материала; b — от величины подачи; 1 — хрупкие;
 2 — жаропрочные и нержавеющие; 3 — углеродистые и легированные; 4 —
 легкоплавкие материалы

При выборе материала для режущего инструмента необходимо исходить из того, что при небольших скоростях резания инструмент, изготовленный из углеродистых и легированных сталей, обеспечивает меньшую шероховатость поверхности. С повышением скоростей резания до 30 м/мин шероховатость увеличивается за счет приваривания мелких частичек стружки к режущему лезвию, так как обрабатываемый материал и материал инструмента имеют большое химическое родство. На твердосплавный инструмент стружка налипает меньше при больших скоростях резания, поэтому и шероховатость обработанной поверхности в этом случае ниже.

Влияние скорости резания на величину шероховатости зависит от материала, подвергающегося обработке. При этом следует помнить, что с увеличением хрупкости материала скорость резания можно не ограничивать и шероховатость поверхности будет удовлетворительной. Если обрабатывается вязкий материал, то скорость резания надо уменьшать, так как будет возрастать шероховатость за счет задиров, образуемых при оплавлениях, и налипания стружки на лезвие инструмента (рис. 27, a).

В зоне скоростей резания 60—70 м/мин высота шероховатостей уменьшается при применении смазочно-охлаждающих жидкостей.

С увеличением подачи шероховатость поверхности увеличивается (рис. 27, b). Однако уменьшать подачу целесообразно лишь до некоторого предельного значения $S_{\text{пред}}$, ниже которого шероховатость поверхности заметно не уменьшается, а иногда даже увеличивается. Это объясняется тем, что при малой подаче большее влияние на образование шероховатостей оказывают пластические деформации и неравномерность подачи.

Глубина резания практически на шероховатость не влияет.

При обработке деталей абразивным инструментом шероховатость уменьшается с уменьшением размеров зерна, повышением твердости шлифовального круга, уменьшением продольной и поперечной подач, повышением скорости вращения как круга, так и детали, увеличе-

нием числа проходов без поперечной подачи. Однако здесь надо помнить, что каждому значению шероховатости соответствует определенное оптимальное значение зернистости круга, при котором производительность процесса наибольшая. Шероховатость уменьшается на 20—30% в том случае, если СОЖ подается через поры шлифовального круга.

3.5. Обеспечение стабильности качества обработанной поверхности в условиях автоматизированного производства

В условиях автоматизированного производства вопросы обеспечения заданной шероховатости поверхности и вообще качества поверхности приобретают особое значение. Само автоматизированное производство организуется обычно в массовом и крупносерийном производстве, а это значит, что сборочный процесс машин производится по методу полной взаимозаменяемости. Если качество поверхности и в частности величина шероховатости ее, будет выходить за пределы заданной, то требуемого вида соединения мы не получим. Длительность эксплуатации такой машины резко сократится. При грубых отступлениях от требуемого качества обработанных поверхностей автоматизированная сборка вообще может не осуществиться, так как нарушится нормальная работа ориентирующих и направляющих устройств. Жесткость деталей исполнительных механизмов на линии и усилия в них строго рассчитаны и регламентированы во времени, пространстве и по величине с учетом определенного качества поверхностей. Устройства, осуществляющие контроль как обработки, так и сборки, таким же образом настроены на нормальную работу только при определенных условиях, устанавливаемых исходя из необходимого качества. Массовый выпуск деталей, как правило, обеспечивает изготовление и сборку машин, отвечающих требованиям времени, т. е. быстроходных, надежных, способных работать в тяжелых условиях эксплуатации. Существующие в настоящее время технологические методы, приемы и оборудование позволяют управлять величиной микронеровностей и их направлением, а также регулировать глубину наклепа и характер напряжений в поверхностном слое, используя для этого соответствующую инструментальную оснастку, инструмент с определенной геометрией режущей кромки и определенные режимы резания.

Под инструментальной оснасткой для автоматизированного оборудования подразумевается комплекс, состоящий из резцов, сверл, фрез, вспомогательного инструмента (державки, оправки, переходные втулки, цанги и т. д.) и приспособлений или приборов для их настройки.

Особенности режущего инструмента для автоматизированного оборудования, заключающиеся в обеспечении высокой производительности, стабильности формирования стружки, не мешающей автоматическому циклу работы оборудования и быстроты, положительно влияют на качество и его стабильность при обработке.

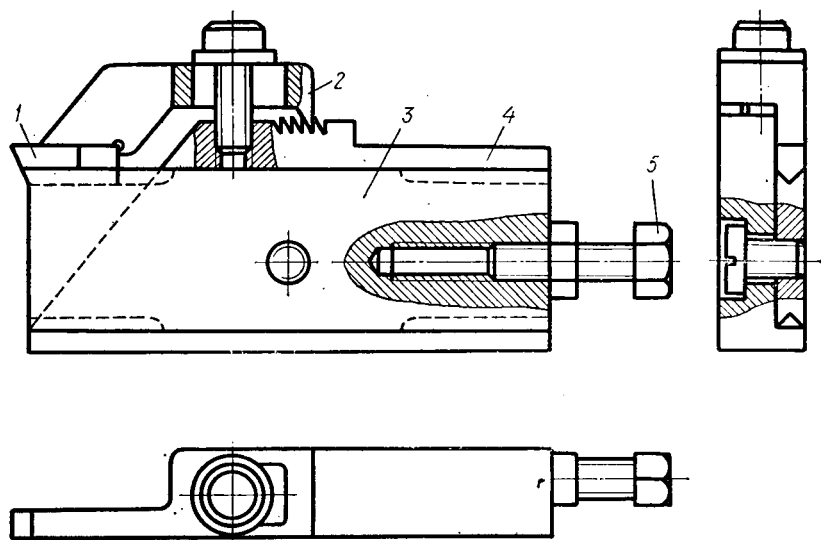


Рис. 28. Сборный отрезной резец:

1 — твердосплавная режущая пластина; 2 — прихват-стружколом; 3 — сменная планка; 4 — корпус; 5 — упорный винт

В целях обеспечения стабильности качества в наладках токарных автоматов применяют нормализованный режущий инструмент, изготовленный по повышенным техническим требованиям. Преимущество в использовании отдается резцам с механическим креплением пластин твердого сплава. Напаянные твердосплавные резцы используются только в том случае, когда механическое крепление не обеспечивает оптимальной геометрии (обработка галтелей, расточка отверстий диаметром менее 25 мм, обработка канавок и коротких фасонных поверхностей на торцах деталей и т. п.). Чтобы обеспечить стабильность качества обработки внутренних отверстий, длина которых в несколько раз превышает их диаметр, рекомендуется расточные резцы закреплять в специальных оправках, борштангах или патронах и расточку осуществлять в несколько проходов. Качество торцовых поверхностей, обрабатываемых на токарных многошпиндельных автоматах, достигается за счет применения сборных отрезных резцов с механическим креплением режущей пластины (рис. 28). Конструкция таких резцов позволяет производить их настройку на размер вне станка за счет наличия регулировочного упорного винта со сферической головкой.

Качество обработанной поверхности (шероховатость R_{a125} и точность Н6 квалитета) закаленных и высокопрочных деталей можно обеспечить, применяя резцы из поликристаллических сверхтвердых материалов на основе модификаций нитрида бора (композит 01 — эльбор, композит 02 — белбор, композит 10 — гексанит и др.). В случае обработки твердых и закаленных поверхностей с большими припусками

Таблица 2

Параметры шероховатости поверхности, мкм		Радиус при вершине резца r , мм				
		0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
R_a	R_z	Подача S , мм/об				
0,63	—	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15
1,25	—	0,10	0,13	0,17	0,19	0,21
2,50	—	0,14	0,20	0,25	0,26	0,32
—	20	0,25	0,33	0,42	0,49	0,55
—	40	0,35	0,51	0,63	0,72	0,80

более целесообразным является использование резцов, оснащенных минералокерамикой марок ВЗ и ВШ, которые (при алмазной доводке режущих кромок) создают высокую стабильность режущих свойств и хорошие эксплуатационные характеристики.

Патроны для крепления осевого инструмента (сверл, зенкеров, разверток и т. д.) на автоматизированном оборудовании должны быть повышенной точности, обеспечивающей установку и вращение его с осевым биением, не превышающим по величине $1/3$ подачи на оборот. Стабильную обработку отверстий в деталях из конструкционных и легированных сталей по Н8—Н11 квалитетам и с шероховатостью

$2,5 \sqrt{\quad}$ дает сверление с применением так называемых эжекторных сверл, обеспечивающих отвод СОЖ и стружки из зоны резания. Эффект эжекции (разрежения) в зоне резания создается за счет наличия в конструкции сверла специального сопла, через которое под давлением поступает определенное количество СОЖ.

Весьма важным фактором, влияющим на стабилизацию качества поверхностей деталей, обрабатываемых на высокопроизводительном автоматизированном оборудовании, является надежное формирование и отвод стружки из зоны резания. Практикой установлено, что наиболее рациональной формой стружки является стружка, завитая в спирали, диаметр которой не превышает $25 \div 30$ мм, а длина — $150 \div 200$ мм. Такую стружку можно формировать, используя специальную заточку режущей части инструмента, ломатели в виде лунок и порожков на передней грани его, накладные стружколоматели, а также кинематическое дробление стружки, особенно при осциллирующем резании.

Основными геометрическими параметрами резца, обеспечивающими надежное формирование стружки, является ширина фаски у главной режущей кромки, длина, ширина и глубина лунки. Величина радиуса закругления при вершине резца оказывает большое влияние на точность и шероховатость обрабатываемой поверхности.

Стабилизация качества поверхностей деталей, обрабатываемых в условиях автоматизации, во многом зависит от назначенных режимов резания и, в первую очередь, от величины подачи.

Величины назначенных подач при полусточной и чистовой обработке деталей выбираются в зависимости от требуемой шероховатости

обработанной поверхности и радиуса скругления при вершине резца. В табл. 2 приведены рекомендуемые величины подач, обеспечивающие требуемую шероховатость поверхностей стальных с $\sigma_b = 70 \div 90$ кгс/мм² и чугунных деталей, обрабатываемых на автоматизированном оборудовании. При обработке деталей из стали с $\sigma_b = 50 \div 70$ кгс/мм² значение указанных подач необходимо уменьшить, а при $\sigma_b = 90 \div 110$ кгс/мм — увеличить на 25%.

3.6. Рекомендации по назначению шероховатости и точности некоторых поверхностей деталей машин

Из всех показателей качества обработанной поверхности детали наиболее важными принято считать точность ее размеров и величину шероховатости.

Числовое значение шероховатости и точности обрабатываемых поверхностей назначает конструктор и наносит их на чертеж детали соответствующими условными знаками и допусками на отклонение от номинальных размеров. Допуски устанавливаются на основании анализа служебного назначения детали в машине, точного расчета и выбранного метода достижения заданной точности. Основанием для выбора допуска является опыт в данной работе, знание результатов эксплуатации аналогичных машин и анализ результатов специальных экспериментов.

Для обеспечения высоких эксплуатационных качеств машины и взаимозаменяемости ее деталей необходимо правильно назначить допускаемые отклонения от номинальных размеров, формы и взаимного расположения отдельных поверхностей. Необоснованно назначенная высокая точность обработки и повышенные требования к шероховатости ведут к повышению стоимости обработки детали, но и заниженные требования к этим параметрам снижают эксплуатационные качества машины и увеличивают трудоемкость сборки. Вот почему необходимо помнить, что точная обработка назначается только для сопрягаемых деталей машин, а для нерабочих поверхностей механическую обработку вообще не следует назначать или назначать в исключительных случаях; причем взаимозаменяемость и эксплуатационные характеристики машины от этого не снижаются. Ниже приводятся ориентировочные рекомендации по назначению шероховатости для поверхностей деталей, которые должны в каждом конкретном случае уточняться в зависимости от материала заготовки, условий обработки, эксплуатации и т. д. [11]. Для деталей машин, не подверженных вибрационным нагрузкам и значительным растягивающим усилиям, можно назначить шероховатость $R_z = 40 \div 20$ мкм. Для подвижных сопряжений с прямолинейными непродолжительными перемещениями при небольших скоростях и невысоких нагрузках и для неподвижных ответственных соединений назначают шероховатость $R_z = 20 \div 10$ мкм.

Шейки валов, втулки и другие детали, участвующие во вращательном движении при небольших скоростях и нагрузках, рекомендуется обрабатывать до шероховатости $R_a = 1,25 \div 1,0$ мкм. Для деталей,

Рис. 29. Схема резерва технологической точности:

δ — поле допусков; V — поле рассеивания технологических погрешностей; Δ — резерв технологической точности

работающих на больших скоростях, для уплотняющих колец и подвижных сопряжений с прямолинейным движением при значительных скоростях и нагрузках рекомендуется назначать шероховатость $R_a = 0,63 \div 50$ мкм.

Тяжело нагруженные опоры, цапфы, шейки валов и т. п., работающие с уплотнениями, рекомендуется обрабатывать до получения шероховатости $R_a = 0,16 \div 0,125$ мкм. Наиболее высокие значения шероховатости назначают для рабочих поверхностей подвижных сопряжений, работающих в условиях высоких скоростей и давлений.

На основании исследований проф. А. А. Маталин при установлении соотношения между средней высотой шероховатости R_z и допуском на изготовление детали δ рекомендует пользоваться следующими формулами:

при диаметре сопряжения свыше 50 мм

$$R_z = 0,1 \div 0,15\delta; \quad (47)$$

при диаметре сопряжения от 18 до 50 мм

$$R_z = 0,15 \div 0,20\delta; \quad (48)$$

при диаметре сопряжения менее 18 мм

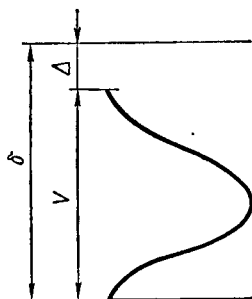
$$R_z = 0,20 \div 0,25\delta \quad (49)$$

Так как шероховатость и физические свойства обработанной режущими инструментами поверхности детали определяют ее качество, а понятие качества и точности связаны между собой, то, очевидно, при одинаковых стандартах качество изделий будет выше в тех производственных условиях, где имеются большие резервы так называемой технологической точности.

Резерв технологической точности рассматривается как разность между величиной поля допуска и поля рассеивания технологических погрешностей (рис. 29). Создание резервов технологической точности способствует устранению брака, развитию автоматизации технологических процессов высокой точности. В условиях автоматизированного производства без наличия резервов технологической точности невозможно применять подналадочные системы и решать проблему регулирования качества продукции, основной задачей которой является обеспечение требуемого качества изделий самим же технологическим процессом.

3.7. Методы формирования поверхностного слоя деталей машин с заданными эксплуатационными свойствами

Исследованиями ряда авторов [10, 19] доказано, что поверхностный слой детали после обработки ее резанием существенно отличается от основной массы металла, так как под действием инструмента его твер-



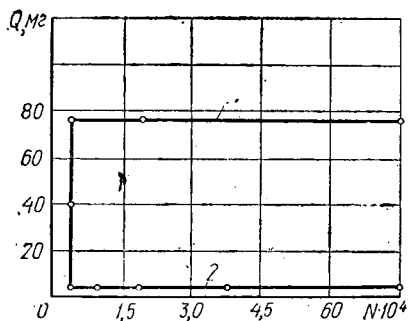


Рис. 30. Влияние наклепа на износ деталей из стали 40X при трении со смазкой;
1 — без наклепа; 2 — с наклепом

дость и кристаллическое строение изменяются. В то же время физико-механическое состояние поверхностного слоя оказывает очень большое влияние на эксплуатационные показатели деталей в работающей машине. Отсюда возникает необходимость в управлении, т. е. формировании

путем технологического воздействия поверхностного слоя повышенной износостойкости, циклической прочности и коррозионной стойкости как основных характеристик качества рабочих поверхностей деталей. Особенно благоприятное влияние на повышение износостойкости деталей оказывает предварительное упрочнение металла поверхностного слоя в процессе механической обработки. После предварительного упрочнения значительно уменьшается смятие и истирание контактируемых поверхностей, увеличивается диффузия кислорода воздуха в поверхностный слой с интенсивным образованием твердых химических соединений железа с кислородом. Химические соединения FeO_3 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 препятствуют развитию пластической деформации контактируемых металлических поверхностей, а значит, и взаимному внедрению поверхностных слоев, которое часто сопровождается схватыванием как наиболее интенсивным видом износа.

Предварительное упрочнение или наклеп резко снижает начальный и общий износ (рис. 30) и приводит к повышению износостойкости деталей, работающих в условиях трения со смазкой [19].

Предварительное упрочнение ряда сталей показывает, что износостойкость более пластичных сталей увеличивается резко.

Однако чрезмерное увлечение наклепом для повышения износостойкости металлических деталей может привести к ускоренному износу упрочненных поверхностей. Такое состояние поверхности называют перенаклепом, а причиной его возникновения является такая степень пластической деформации от нагрузки, которая превосходит определенное для данного металла значение. Вначале это проявляется в виде разрыхления поверхностного слоя, т. е. разрыва межатомных связей и нарушения сплошности его. При дальнейшем увеличении нагрузки начинаются отслаивания переупрочненных зон металла, т. е. наступает шелушение наклепанной поверхности.

Предварительное упрочнение поверхностного слоя, т. е. наклеп его, положительно сказывается на циклическую прочность деталей, предотвращая возникновение и развитие усталостных трещин. Многочисленными исследованиями доказано, что при наклепе поверхностного слоя циклическая прочность деталей машин, работающих в условиях нормальной комнатной температуры, может повыситься на 25—30%.

На коррозионную стойкость влияние наклепа сказывается двояко: в одних случаях за счет различной интенсивности деформирования ферритных и перлитных зерен, а также различного искажения атомной решетки в разных кристаллических зернах и появления плоскостей сдвигов и мест выхода дислокаций коррозионные и диффузионные процессы ускоряются. В других случаях, например при накатывании роликами и обдувке дробью, замедляются за счет завальцовывания (при определенных условиях) путей проникновения коррозионных средств внутрь металла.

Наряду с наклепом в поверхностном слое обработанного металла возникают остаточные напряжения, которые оказывают значительное воздействие на усталостную прочность детали. Многочисленными исследованиями акад. АН УССР С. В. Серенсена, проф. И. В. Кудрявцева, проф. М. М. Саверина и других установлено, что при наличии в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия предел выносливости детали из стали повышенной твердости увеличивается до 50%, а при наличии остаточных напряжений растяжения — снижается до 30%.

Во многих случаях простое изменение методов и режимов механической обработки оказывает воздействие на отдельные характеристики качества поверхности, а следовательно, и на эксплуатационные показатели детали. Таким образом, изменяя условия выполнения отдельных технологических операций или всего технологического процесса, мы можем влиять на эксплуатационные свойства обработанных поверхностей деталей, т. е. можно говорить о существовании определенной технологической наследственности [19].

Технологической наследственностью следует называть изменение эксплуатационных свойств деталей машин под влиянием технологии их изготовления. Появление технологической наследственности в одних случаях может привести к улучшению, а в других — к ухудшению эксплуатационных свойств деталей машин. Правильно использовать явление технологической наследственности можно путем установления непосредственных связей между эксплуатационными характеристиками и режимами резания с помощью определенных математических зависимостей.

Раздел 3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Глава 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1.1. Определение нормы расхода материала на единицу продукции и основные предпосылки для назначения вида заготовки

Количество металла или материала, расходуемого для изготовления деталей машин, определяется массой годных деталей и тем количеством материала, которое пошло в отход в процессе их изготовления.

Отход производства деталей машин состоит из технологического и заготовительного отходов. Поэтому норму расхода сырья, устанавливаемого на единицу продукции с учетом определенных конкретных производственных условий, можно выразить формулой

$$H = Q_g + Q_t + Q_z, \quad (50)$$

где H — норма расхода материала, кг; Q_g — масса годной детали, кг; Q_t — масса технологического отхода, кг; Q_z — масса заготовительного отхода, кг.

Массу годной детали Q_g можно рассчитать по формулам на основании данных чертежа или непосредственного обмера, а в случае особо сложной конфигурации детали — контрольным взвешиванием образца.

Масса технологического отхода Q_t представляет собой неизбежные для данного производства потери материала в виде припусков на механическую обработку, угар, литейные и штамповочные уклоны, облой, прибыли и т. п. Величина этого отхода находится в прямой зависимости от условий технологического процесса и особенностей применяемого для обработки оборудования. Масса технологического отхода представляет собой разность между массой заготовки и массой готовой детали, которая будет уменьшаться по мере совершенствования технологических процессов и применения прогрессивных методов обработки.

Масса заготовительного отхода Q_z непосредственно с технологическим процессом изготовления детали не связана. Она вызывается условиями поставки металла или материала (например, отход прутка по некратности его длины) и также уменьшается за счет совершенствования организации производства.

Выбрать заготовку — это значит установить способ ее получения, наметить припуски на обработку каждой поверхности, рассчитать ее размеры и указать допуски на неточность изготовления. Для правильного выбора заготовки необходимо всегда учитывать следующие основные факторы: заданный материал детали и его свойства, т. е.

его технологическую характеристику; размеры детали и ее геометрическую форму; планируемое количество выпуска деталей; наличие на заводе оборудования для получения заготовки; требуемую точность выполнения заготовки и качество поверхности; особые технологические условия, предъявляемые к работе детали или машины в целом (взрывобезопасность, сопротивление коррозии, износостойкость); время, необходимое для подготовки производства (изготовление штампов, моделей, прессформ и т. п.).

Для изготовления деталей машин применяются заготовки следующих пяти видов: заготовки из стального проката или сплавов цветных металлов; поковки и штамповки из стали и некоторых цветных металлов; отливки из стали, чугуна и сплавов цветных металлов; заготовки, изготовленные комбинированным методом; заготовки из металлокерамики, пластмасс и других неметаллических материалов.

Заготовками для чугунных и бронзовых деталей являются отливки. Для изготовления медных, алюминиевых и латунных деталей в качестве заготовки можно использовать как соответствующие отливки, так и прокат. Стальные детали изготавливаются из проката, штамповок, поковок и отливок.

1.2. Получение заготовок из проката

В настоящее время в машиностроении применяют прокат разнообразных форм и размеров. Наиболее употребительными формами являются: круглое сечение диаметром 5—250 мм; квадратное сечение со стороной квадрата 5—250 мм; шестигранное сечение с расстоянием между противоположными гранями 8—100 мм; сталь прокатная полосовая шириной 12 мм при толщине 4—8 мм и шириной 220 мм при толщине 4—60 мм; сталь прокатная широкополосная универсальная шириной 100—300 мм при толщине 4 мм и шириной 160—1050 мм при толщине 4—60 мм; трубы стальные бесшовные $\varnothing$ 25—820 мм; трубы специальные толстостенные; сталь тонколистовая; проволока; прокат специальных форм в виде уголков, швеллеров, двутавра и т. д.

Сталь диаметром до 8 мм включительно поставляется в мотках, свыше 8 мм — обычно в прутках длиной 2—10 м.

Круглый прокат как горячекатаный, так и холодноотянутый, идет на изготовление гладких и ступенчатых валов, осей, винтов, шпилек, болтов и т. д.

Ступенчатые валы из проката рекомендуется изготавливать при разнице диаметров в ступенях $d_{\max} - d_{\min} \leq 30 \div 40$ мм. При разнице диаметров в ступенях больше 40 мм валы обычно изготавливают из поковок. Если вал имеет бурты большого диаметра, то в качестве заготовки берется прокатный материал, а отдельно выточенные бурты насаживаются на вал по горячей посадке и привариваются к нему. Для получения фасонных деталей машин предусмотрен выпуск профильного материала путем горячей периодической прокатки, а также прессованием, штамповкой, волочением и т. д. Применение профильной прокатки обеспечивает не только малые припуски, но и благоприятное расположение волокон. Точность профильного проката зависит

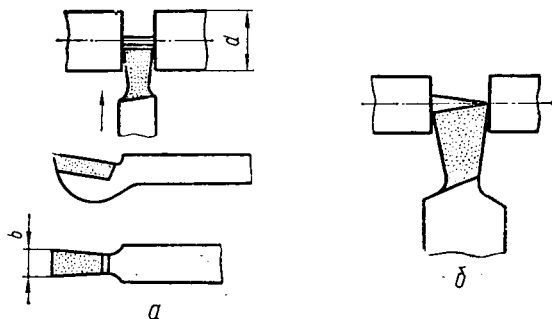


Рис. 31. Резцы отрезные:

a — с прямой режущей кромкой; *б* — со скошенной режущей кромкой

от: точности построения и изготовления копира, настройки и жесткости стана, скорости прокатки, колебаний температуры, величины износа роликов, который не должен превышать по диаметру $\pm 0,1\%$, а по длине $\pm 0,5\%$ от номинального размера. На разрез устанавливается специальный припуск.

Разрезание металла можно осуществлять на станках токарной группы с применением одного или двух отрезных резцов. Кроме того, его можно осуществить дисковыми, приводными, ленточными и фрикционными пилами, абразивными дисками, на фрезерных станках, приводных ножницах с применением холодной ломки на прессах, анодно-механическим способом, газовой и электрической порезкой. Для порезки заготовок из проката на станках токарной группы применяются, как правило, отрезные резцы (рис. 31).

Для выбора ширины резца необходимо руководствоваться соотношением

$$b = 0,6 \sqrt{d}, \quad (51)$$

где d — диаметр разрезаемого металла, мм.

Выбор подачи зависит от применяемого материала и качества режущих пластин, а также от материала заготовки. С достаточной для практики точностью можно рекомендовать величину подачи для стального проката

$$S = \frac{b}{15} \dots \frac{b}{20}; \quad (52)$$

для чугунных болванок

$$S = \frac{b}{10} \dots \frac{b}{15}. \quad (53)$$

В том случае, если необходимо получить гладкую поверхность заготовки небольшой массы, следует применять отрезной резец со скошенной режущей кромкой (рис. 31, б).

В заготовительных цехах больших заводов применяют специальные токарные станки для порезки заготовок с двумя резцами. Их осо-

Рис. 32. Схема для расчета машинного времени

бенность состоит в том, что скорость вращения шпинделя изменяется. Она возрастает при движении резцов от периферии к центру заготовки так, что скорость резания остается постоянной.

Преимущество таких станков заключается в сокращении машинного времени за счет увеличения подачи наоборот и отсутствия изгиба разрезаемого материала. Недостаток — возможность разрезать только круглый профиль заготовок.

Сравнение машинного времени резания при постоянной частоте вращения ($n = \text{const}$) и постоянной скорости резания ($V = \text{const}$) дает следующие результаты: в первом случае ($n = \text{const}$) машинное время t_m определяется по формуле

$$t_m = \frac{d}{2nS}, \quad (54)$$

где n — частота вращения, об/мин; 2 — количество резцов; S — подача, мм/об; d — диаметр заготовки, мм.

Так как $n = \frac{1000V}{\pi d}$, то, подставляя в формулу, получим:

$$t_m = \frac{2\pi d^2}{2000VS}, \quad (55)$$

где V — скорость резания на наружном диаметре, м/мин.

Во втором случае бесконечно малое приращение машинного времени dt_x , соответствующее радиальному перемещению резца dx (рис. 32), определяется по формуле

$$dt_x = \frac{dx}{n_x S}. \quad (56)$$

Так как $n_x = \frac{1000V}{2\pi \cdot x}$, то $dt_x = \frac{2\pi x dx}{1000VS}, \quad (57)$

где n_x — мгновенное значение переменной частоты вращения, соответствующее радиусу x .

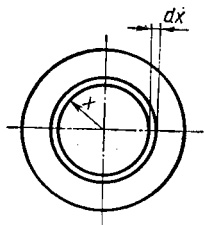
Интегрируя в пределах от $x = \frac{d}{2}$ до $x = 0$

$$t_m = \frac{2\pi}{1000VS} \int_{\frac{d}{2}}^0 x dx = \frac{2\pi}{1000VS} \left| \frac{x^2}{2} \right|_{\frac{d}{2}}^0,$$

получим

$$t_m = \frac{\pi d^2}{4000VS}. \quad (58)$$

Таким образом, машинное время при $V = \text{const}$ в два раза меньше, чем при $n = \text{const}$. Но фактически оно уменьшается не на 50%, а на 30—35%, так как скорость резания при приближении к оси заготовки несколько уменьшается.



Для разрезания профилей любого сечения хорошо зарекомендовали себя дисковые пилы. Они изготавливаются цельными диаметром до 300 мм и со вставными сегментами из быстрорежущей стали диаметром от 300 до 2000 мм. Каждый сегмент в случае его поломки можно заменить другим. Применение режущих зубьев из твердосплавных материалов, вставленных на припое в заранее подготовленные места на стальном диске, в несколько раз увеличивают стойкость и производительность процесса за счет увеличения подачи на зуб и скорости резания. Ширина пропила дисковых пил находится в пределах 4—14 мм, шаг зубьев — от 15 до 45 мм. Стойкость дисковых пил, качество разрезанной поверхности и условия работы обеспечиваются наилучшим образом при соотношении высоты пропила и шага зубьев $l = 0,15h$. При эксплуатации дисковых пил разрезаемый материал следует располагать симметрично относительно оси пилы. Этим исключается возникновение больших усилий при резании и поломка зубьев пилы. Величина подачи на один зуб $S_z = 0,02 \div 0,2$ мм; $V_{рез} = 15 \div 30$ м/мин в зависимости от материала.

Разрезание металла приводными пилами обеспечивает хорошее качество разреза и малую ширину пропила. Приводные пилы дешевле по стоимости, просты в обслуживании и позволяют одному рабочему обслуживать одновременно 4—6 работающих пил.

Для отрезания литников и прибылей в заготовках из сплавов цветных металлов, а также при вырезании деталей со сложным контуром из листа применяются ленточные пилы.

Весьма производительным способом порезки заготовок из специальных и круглых профилей (из проката небольших диаметров) является разрезание фрикционными пилами.

Фрикционные пилы представляют собой стальной незакаленный диск шириной 2—3 мм и диаметром 1—1,8 м, на цилиндрической части которого накатаны мелкие зубцы.

Работа фрикционных пил основана на принципе выплавления металла в месте мгновенного контакта зубца диска с заготовкой. Для этого диску сообщается окружная скорость порядка 120—150 м/с, которая обеспечивает развитие температуры в месте контакта до 1200° С. Скорость резания почти не зависит от твердости стали.

Недостаток — большой расход мощности, невозможность из-за заклинивания пилы разрезать круглый металл большого диаметра и некачественная поверхность разреза. Эти недостатки сдерживают применение фрикционных пил для порезки заготовок и особенно в тех случаях, когда заготовки идут для дальнейшей механической обработки.

Для получения мелких заготовок с чистыми и параллельными между собой поверхностями разреза из прутков длиной до 700 мм рекомендуется производить разрезание дисковыми фрезами на фрезерных станках.

Широкое применение в машиностроении для получения заготовок из труб весьма твердых и закаленных материалов небольших сечений получил метод разрезания абразивными дисками. Толщина таких дисков 1—4 мм и диаметр 200—400 мм. Окружная скорость диска

60—80 м/с и подача 300—500 мм/мин. Плоскость разреза получается гладкой и правильной.

Для порезки листовой стали, фасонных и круглых профилей небольших сечений применяются различного вида приводные ножницы. Толщина разрезаемых на ножницах листов может быть от 6 до 25 мм и ширина до 3000 мм.

Порезка металлов анодно-механическим способом по принципу работы мало чем отличается от фрикционных пил и состоит в следующем. К разрезаемой заготовке подводится положительный полюс источника постоянного тока (анод), а к инструменту — отрицательный полюс (катод). В качестве инструмента обычно используется металлический диск из мягкой стали. Напряжение постоянного тока 20—26 В. Электролитом служит водный раствор жидкого стекла с плотностью 1,27—1,3 г/см³. В месте контакта диска и металла образуются микроэлектродуги, которые расплавляют частички металла. Расплавленные частички выбрасываются диском в раствор электролита. По производительности этот метод приравнивается порезке на дисковых пилах.

Холодная ломка металла под прессом является весьма производительной при условии, что сталь имеет повышенное содержание углерода, кремния, фосфора и серы. Чтобы осуществить ломку металлического прутка круглого, квадратного или шестигранного сечения, необходимо предварительно сделать надрез. Глубина надреза должна составлять от 15 до 30% диаметра стержня. Надрез осуществляется механическим или электрическим способом. Качество поверхности при холодной ломке зависит от глубины надреза, химического состава металла и оборудования. Величина неровности и глубина поврежденного слоя составляет 1—3 мм.

Методы газового и электрического резания в большинстве случаев применяются для порезки заготовок в цехах металлоконструкций и литейных для отрезки прибылей и литников. Применение этого метода для резания металла ограничено ввиду некачественной поверхности разреза.

1.3. Получение заготовок методомковки и штамповки

Ковку и штамповку заготовок можно осуществить на ковочных, ковочно-штамповочных молотах, гидравлических ковочных прессах, горизонтально-ковочных машинах, ротационных и электроковочных машинах. По технологическому признаку ковка и штамповка делятся на горячую, холодную и листовую.

Метод получения заготовок давлением без применения специальных подкладных или закрытых штампов носит название свободнойковки. Свободной ковкой можно получать детали простой конфигурации массой от 150 т до 350 г. Свободная ковка обычно применяется в единичном и мелкосерийном производстве, а большие поковки — во всех видах производств. Серийному производству в большей мере отвечает штамповка в подкладных штампах.

В крупносерийном и массовом производстве мелких и средних деталей целесообразно применять штамповку в закрытых штампах. Необходимыми предпосылками для примененияковки заготовок являются: сложность формы заготовки; условие, когда поперечные размеры деталей превышают пределы максимальных поперечных размеров проката.

Ковку целесообразно также применять в тех случаях, когда по техническим условиям к детали предъявляют повышенные механические требования.

Материалом для получения поковок обычно является прокат. Во всех случаях целесообразно, чтобы размеры заготовки соответствовали наибольшему размеру проката, а ступени с меньшими размерами были получены путем вытяжки.

Повышение точности поковок достигается калибровкой и правкой их. Калибровка может быть плоскостная и объемная, холодная и горячая (в зависимости от площади) и осуществляется на кривошипных или винтовых прессах и молотах, в штампах простого или комбинированного действия. В необходимых случаях с использованием аналогичного оборудования производится обрезка и прошивка поковок.

Штамповка деталей, осуществляемая в открытых штампах, называется облойной, а в закрытых — безоблойной штамповкой. Как та, так и другая в зависимости от сложности детали может выполняться в одноручьевых, многоручьевых и комбинированных штампах.

Комбинированная или расчлененная штамповка осуществляется на двух или более штамповочных механизмах. Штамповка в закрытых штампах наиболее целесообразна для деталей, имеющих круглую форму или приближенную к ней.

В современных заготовительных цехах машиностроительных заводов широкое распространение получила холодная штамповка заготовок или их деталей, которая по характеру деформации бывает разделительная, формоизменяющая и сложная.

К разделительной операции штамповки можно отнести раскрой материала и вырезку; к формоизменяющей — гибку, вытяжку, разбортовку; к сложной — рельефную штамповку и холодное выдавливание (рельефная штамповка — получение ребер жесткости и различных рельефов или выдавливание колпачков).

Прежде чем назначить метод получения заготовки, технолог обязан убедиться в экономической целесообразности того или иного метода. При этом основным фактором должна служить стоимость полученной заготовки.

Стоимость заготовки из проката и ее черновой обработки можно определить по формуле

$$C = gC_{\text{п.м}} + Bt_{\text{к}} \left(1 + \frac{q}{100} \right), \quad (59)$$

где g — масса проката заготовки, кг; $C_{\text{п.м}}$ — цена 1 кг проката; B — часовая зарплата рабочего при черновой обработке детали; $t_{\text{к}}$ — калькуляционное время черновой обработки прокатной заготовки; q — накладные расходы механического цеха, %.

Стоимость поковки и ее черновой обработки определяется по формуле

$$C_1 = g_1 C_{п.м} + C_{\kappa} \left(1 + \frac{q_1}{100} \right) + B t_1 \left(1 + \frac{q}{100} \right), \quad (60)$$

где g_1 — масса материала, расходуемого на поковки, кг; $C_{п.м}$ — цена 1 кг металлопроката; C_{κ} — стоимость кузнечной работы; q_1 — накладные расходы кузнечного цеха, %; B — часовая зарплата рабочего при черновой обработке; t_1 — калькуляционное время черновой обработки поковки, ч; q — накладные расходы механического цеха.

Условие выгодности применения ковальной заготовки является случай, когда $C_1 \leq C$.

При одинаковой стоимости заготовки из проката и ковальной следует отдавать предпочтение ковальной заготовке, так как в этом случае уменьшается расход металла, разгружается парк токарных станков и, что самое основное, улучшаются показатели механической прочности детали.

Стоимость штамповки определяется по формуле

$$C_2 = g_2 C_{п.м} + C_{ш.р} \left(1 + \frac{q_2}{100} \right) + \frac{C_{шт}}{n} + B t_2 \left(1 + \frac{q}{100} \right), \quad (61)$$

где g_2 — масса материала, расходуемого на штамповку, кг; $C_{ш.р}$ — стоимость штамповочных работ; $C_{шт}$ — стоимость штампа; n — количество деталей, изготавливаемых с применением штампа; $B t_2 \left(1 + \frac{q}{100} \right)$ — стоимость черновой обработки штамповки.

Условие выгодности применения штамповки $C_2 \leq C_1$.

1.4. Получение заготовок методом литья и комбинированным методом

В настоящее время для получения заготовок применяют следующие виды литья: литье в земляные или песчаные формы; литье в металлические формы постоянные и полупостоянные; литье под давлением, центробежное литье; литье по выплавляемым моделям (выжигание; растворение); литье в корковые или оболочковые формы; штамповка жидкого металла.

Литье в земляные или песчаные формы используют обычно для получения простых по форме заготовок в условиях единичного и мелкосерийного производства. В большинстве случаев это детали с плоскими поверхностями, для формовки которых применяется ручная формовка по деревянным моделям.

В серийном и массовом производстве для изготовления средних и мелких заготовок, имеющих форму тел вращения, более выгодной является машинная формовка по металлическим моделям, так как она обеспечивает снижение величины припусков и экономию металла в среднем на 10%.

Заготовки из чугуна, цветных металлов и их сплавов (втулки, венцы зубчатых колес и т. д.) рекомендуется получать путем заливки расплавленной массы в разъемную металлическую форму — кокиль. В данном случае обеспечивается высокая производительность литья

и значительная экономия металла за счет минимальных (а иногда и нулевых) величин припусков.

Заготовки ответственных деталей преимущественно из сплавов цветных металлов выгодно получать литьем под давлением. Осуществляется этот процесс на специальных литейных машинах с использованием металлических форм. Качество заготовок высокое, обработке резанием обычно подвергаются только рабочие поверхности.

Центробежное литье применяют для получения заготовок с очень плотной структурой и минимальными припусками под обработку резанием. Плотность структуры заготовки получается за счет действия центробежной силы, возникающей при вращении формы с залитой в нее и прижимающейся к ее стенкам расплавленной массы. Особенностью центробежного литья является возможность получения биметаллических заготовок, представляющих собой тела вращения.

Сложные по форме заготовки до $H6$ квалитета точности из любых сталей и сплавов можно получить литьем по выплавляемым моделям. Вначале изготавливают модели в специальных прессформах, а из них уже литейные формы. Полученную литейную форму нагревают до температуры плавления ее материала. Расплавленный материал (воск, стеарин, парафин или их смеси) вытекает, образуя свободную полость — форму, которая и заливается жидким металлом или сплавом. Литье по выплавляемым моделям применяют в серийном и массовом производстве.

Эффективным по экономическим показателям и обеспечивающим точность размеров заготовок до $0,3—0,7$ мм и шероховатость $R_z = 10 \div 40$ мкм является литье в корковые или оболочковые формы.

Экономическая целесообразность литья в земляные формы определяется из его стоимости по сравнению с другими методами получения заготовок:

$$C_3 = g_3 C_{ж.м} + A \left(1 + \frac{q_3}{100} \right) + \frac{C_{ф.о}}{n} + Bt_3 \left(1 + \frac{q}{100} \right), \quad (62)$$

где g_3 — масса жидкого металла, расходуемого на отливку, с учетом угара и брака, кг; $C_{ж.м}$ — стоимость 1 кг жидкого металла в конкретных условиях; A — сумма зарплаты по литейному цеху, связанная с отливкой заготовки (изготовление стержней, формовка, заливка, выбивка, очистка и обрубка литья, отжиг и обрезка прибыли); q_3 — накладные расходы литейного цеха, %; $C_{ф.о}$ — стоимость формовочной оснастки (модели, шишельных ящиков и т. д.); n — количество деталей, отливаемых по одной модели; $Bt_3 \left(1 + \frac{q}{100} \right)$ — стоимость черновой обработки отливки. Если $C_3 \leq C_1$ и $C_3 \leq C$, то получение заготовки методом литья экономически целесообразно.

Механические свойства литых заготовок ниже, чем кованных или из проката. Этот факт надо учитывать при конструировании машин. Применение специальных видов литья позволяет значительно сократить или вообще исключить механическую обработку деталей.

При необходимости получить сложную заготовку целесообразным и рациональным является расчленение ее на отдельные простые части,

изготавливаемые прогрессивными методами с последующим соединением их сваркой, пайкой или другими способами в одно целое. Такой метод получения заготовок позволяет не в ущерб их качеству снизить массу и упростить технологию изготовления, что положительно сказывается на стоимости заготовки. Кроме того, в данном случае есть возможность в максимальной степени учесть особенности эксплуатации и условий работы отдельных поверхностей деталей. Достигается это путем применения для этих поверхностей наиболее износостойкого материала или материала с особыми свойствами.

Наибольшее распространение при комбинированном методе изготовления заготовок получила сварка.

1.5. Получение заготовок из металлокерамики, пластических масс и других неметаллических материалов

Металлокерамическая технология обеспечивает возможность получения заготовок и деталей машин из металлов, которые не смешиваются в расплавленном виде (железо-свинец, вольфрам-медь), и композиций, состоящих из металлов и неметаллов (медь-графит и т. д.).

Основным способом получения заготовок и деталей из металлокерамики является прессование порошкообразных компонентов в специальных формах под давлением 1000—6000 кгс/см² с последующим их спеканием.

Различается прессование горячее и холодное. Горячее прессование характеризуется одновременным проведением операции прессования и спекания. Если операция спекания производится после прессования детали, то этот процесс носит название холодного прессования.

Пластмассы — это такие материалы, которые на определенной стадии их производства приобретают пластичность, т. е. способность под воздействием давления принимать соответствующую форму и сохранять ее после снятия давления.

Заготовки и детали из пластических масс в настоящее время находят широкое применение в машиностроении, благодаря сравнительно малому удельному весу, стойкости к агрессивным средам, высокой демпфирующей способности, электро-, тепло-, звукоизоляционным и фрикционным свойствам.

В зависимости от химических свойств исходных смолообразных веществ пластические массы, получаемые на их основе, делятся на две основные группы: 1) термореактивные — при действии повышенных температур они претерпевают ряд химических изменений и превращаются в неплавкие и практически не растворимые продукты; 2) термопластичные — при нагревании они размягчаются, сохраняя плавкость, растворимость и способность к повторному формированию.

В большинстве случаев пластмассы представляют собой многокомпонентные системы. Они состоят из связующего вещества, наполнителя, красителя, смазывающего вещества, катализатора и других компонентов.

Для правильного выбора пластмасс при изготовлении из них деталей во всех случаях необходимо знать конкретные условия работы

данной детали и пользоваться необходимыми справочными материалами, характеризующими свойства пластических масс.

Основными методами переработки пластмасс в детали являются: прессование, литье под давлением и литье в формы.

Прессование преимущественно производится так называемым горячим методом, т. е. при необходимом давлении и определенном температурном режиме. Обычно используют гидравлические прессы, однако не исключается возможность использования фрикционных и винтовых прессов.

В качестве исполнительного инструмента служат специальные металлические прессформы, находящиеся в весьма тяжелых и неблагоприятных эксплуатационных условиях. Эти условия характеризуются значительными многократными нагрузками (давление до 600—800 кгс/см²) и агрессивным коррозионным воздействием выделяющихся в процессе прессования продуктов химических превращений.

Литье под давлением пластмасс в принципе ничем не отличается от литья под давлением металлов. Технологический процесс заключается в следующем: в загрузочное приспособление специальных машин помещают пластическую массу, которая затем поступает в обогревающее устройство для расплавления. На расплавленную массу воздействует поршень (плунжер), который создает большое давление. Благодаря давлению расплавленная масса впрыскивается в пресс-форму, где и формируется деталь. Производительность процесса очень высокая (до 15—20 тыс. штук в смену). При этом можно получать детали со сложными винтовыми резьбами и профилями, тонкостенные детали и т. д.

В тех случаях, когда из пластмасс необходимо изготовить какие-то профилированные изделия, например различные стержни, трубы, панели и т. п., целесообразно использовать одну из разновидностей литья под давлением — метод непрерывного выдавливания.

При этом методе исходные смоляные композиции из загрузочного бункера доставляют в рабочий цилиндр, снабженный обогревающим устройством. Здесь происходит размягчение пластмассы, которая затем с помощью шнека (винта) выдавливается через специальные отверстия, называемые мундштуками.

Метод непосредственного литья в форме используют в том случае, когда детали изготовляют из связующего вещества без наполнителя, и для получения различных литых терморезистивных пластмасс, например литого карболита, литого резита, а также органического стекла, полистирола и др., относящихся к термопластичным пластмассам.

К числу других неметаллических материалов, используемых в машиностроении, относятся слоистые пластики, древесина, резина, бумага, асбест, текстиль, кожа и др. Эти материалы обеспечивают необходимую прочность и придают высокие фрикционные свойства, химическую стойкость, термостойкость, влагостойкость и другие ценные и необходимые качества деталям машин.

Особое распространение получили слоистые пластики для изготовления различных передаточных зубчатых колес и подшипников. Например, текстолитовые передаточные зубчатые колеса в отличие

от металлических бесшумны в эксплуатации и устойчивы к различным агрессивным средам. Хорошо себя зарекомендовали текстолитовые зубчатые колеса в химической промышленности в различных агрегатах, аппаратах и приборах, где необходимо обеспечить высокую сопротивляемость агрессивным средам.

Слоистые пластинки хорошо поддаются всем видам механической обработки. Недостатком их является плохая теплопроводность и слоистая структура, что при неправильных методах обработки приводит к быстрому износу инструмента, расслаиванию и выкрашиванию материала в процессе эксплуатации.

Автоматизированное производство в зависимости от степени его автоматизации к методам получения заготовок предъявляет определенные требования, суть которых сводится к обеспечению наименьшего и равномерного припуска на обработку.

Для поточных линий серийного производства следует использовать заготовки из холоднотянутых прутков, т. е. полученных методом волочения, так как себестоимость операции волочения весьма незначительна по сравнению с токарной обработкой или даже с бесцентровым шлифованием. Из двух методов получения заготовок —ковки и штамповки — предпочтение отдается штамповке как более прогрессивному методу, обеспечивающему высокую производительность и низкую себестоимость. В условиях автоматизированного производства штампованные заготовки должны быть с минимальными припусками, а их механическая обработка — без разметки.

В целях исключения возможности появления вибраций при механической обработке заготовки для автоматизированного производства не должны иметь недоката, овальности или неравномерности расположения припусков. Размеры заготовок для автоматизированного производства должны быть строго регламентированы, особенно это касается установочных размеров, обеспечивающих правильную установку заготовок в приспособлениях и ориентацию при приложении зажимных усилий. Для поточного производства более приемлемы машинные способы получения отливок, машинная формовка, отливка в кокиль и прессформы, литье под давлением, центробежное литье и горячая штамповка жидкого металла. Эти способы позволяют получить отливки не только низкой себестоимости, но и хорошего качества для этого вида производства.

1.6. Электроискровой метод обработки деталей машин

В основу электроискрового метода обработки положено явление разрушения электрода под воздействием электрического разряда, поэтому этот метод называют электроэрозионным методом обработки металлов. Электрический разряд сопровождается электрическими и электротермическими процессами на элементарных участках обрабатываемой поверхности, где концентрируется значительное количество энергии с плотностью тока порядка 10^5 — 10^6 А/см² и температурой нагрева до 6000—11 000° С.

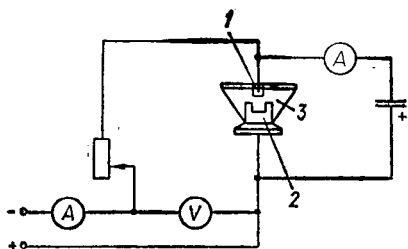


Рис. 33. Принципиальная схема электроэрозионной установки:

1 — катод (инструмент-электрод); 2 — анод (обрабатываемая деталь); 3 — масло

Естественно, что импульсный разряд в таких условиях сопровождается разрушением, оплавлением и частичным испарением металла. Продукты разрушения и оплавления электродинамическими силами электрического поля и ударной волной (давление газа в канале разряда достигает 25 кгс/мм^2) выбрасываются в межэлектродное пространство, заполненное диэлектрической жидкостью (масло, керосин, дизельное топливо и др.). Метод применяется при прошивании отверстий, шлифовании, упрочнении и других видах обработки любого электропроводящего материала.

Принципиальная схема электроэрозионной установки представлена на рис. 33.

При обработке стальных деталей материалом электрода-инструмента может быть латунь, медь, алюминий, а при обработке твердых сплавов — чугун и алюминий.

Процесс обработки отверстий диаметром до 4 мм значительно улучшается в том случае, если электроду-инструменту придать вращательное движение с частотой до 8000 об/мин или вибрацию с частотой на порядок выше, обеспечивая этим надежное удаление продуктов электроэрозии.

Отечественные электроискровые установки выпускают в двух модификациях: конденсаторные и низкого напряжения при контактном и бесконтактном действии. В установке низкого напряжения отсутствует конденсатор и главным ее назначением является резка металла со следующими режимами обработки: напряжение 28—32 В, сила тока 95—100 А. Режимы обработки конденсаторной установки (напряжение, сила тока и емкость) бывают жесткие, средние и мягкие. Производительность, точность и шероховатость обработки зависят от того, на каком режиме работает установка.

При жестких режимах ($U = 150 \div 200 \text{ В}$, $I = 10 \div 60 \text{ А}$, $C = 400 \div 600 \text{ мкФ}$) и длительных разрядах (10^{-3} — 10^{-2} с) производительность достигает 500—700 мм³/мин, а шероховатость поверхности не менее $R_z = 80 \text{ мкм}$. На средних и мягких режимах (соответственно в 2 и 10 раз уменьшенных) производительность снижается до 15—50 мм³/мин, а шероховатость поверхности повышается до $R_a = 0,63 \div 0,50 \text{ мкм}$. При прошивании отверстий необходимо, чтобы между стенками прошитого отверстия и электродом был зазор величиной 0,008—0,75 мм.

Электроискровые станки с успехом используют также и для нанесения твердых сплавов на поверхности, к которым предъявляются повышенные требования износоустойчивости. Упрочнение поверхности можно осуществлять хромом, феррохромом, титановольфрамокарбидовыми сплавами (Т15К6, Т30К4 и др.). Производительность при наращивании твердыми сплавами доходит до 0,5—1,0 см²/мин, а макси-

мальная толщина наросшего слоя не более 0,16 мм (при более толстых слоях покрытие получается недоброкачественное) при шероховатости $R_a = 1,25 \div 1,0$ мкм без дополнительной механической обработки.

По производительности, износу, обеспечению точности и другим показателям отечественные электроискровые станки делятся на электроимпульсные и электроискровые. Электроимпульсные станки обеспечивают высокую производительность до 5000—5500 мм³/мин (при работе на токах 5—10 А), но поверхность обработки получается грубой. Существенным недостатком их являются склонность к образованию устойчивой дуги между электродом и изделием, что приводит к возникновению на обработанных поверхностях прижогов. Электроискровые станки обеспечивают более низкую производительность, но более высокую точность и меньшую шероховатость обработанной поверхности.

В настоящее время выпускают полуавтоматические установки электроискровой обработки для деталей с небольшими размерами и полностью автоматизированные установки для прошивания отверстий малых диаметров в различных деталях, например распылителях топливной аппаратуры.

1.7. Ультразвуковой метод обработки деталей машин

В основу ультразвуковой обработки положено явление выкрашивания хрупких материалов при вдавливании в них абразивных зерен вибрирующим инструментом.

Ультразвуковой метод обработки позволяет обрабатывать отверстия любого профиля в заготовках деталей из любого материала, в том числе и таких труднообрабатываемых, как кварц, алмаз, стекло, твердые сплавы, керамика и т. д. Если обрабатываемая поверхность детали не хрупкая, то в начале процесса вибрирующим инструментом создается наклеп, а потом удаляется этот наклепанный слой. Для осуществления процесса инструменту необходимо сообщить возвратно-поступательное движение в виде колебаний в зоне ультразвукового диапазона с большой амплитудой и поступательное движение или рабочую подачу. Величина рабочей подачи зависит от многих технологических факторов, однако общим требованием должно быть отсутствие зазора между рабочим торцом колеблющегося инструмента и поверхностью абразива в зоне обработки. Возвратно-поступательное движение инструмента в виде вибрирующих колебаний обеспечивается за счет магнито-стриктора, т. е. акустической головки, где электрическая энергия преобразуется в акустическую. В зону обработки непрерывным потоком подается водная суспензия с абразивными зернами во взвешенном состоянии. В результате кавитации подаваемой жидкости образуется большое количество пор и полостей, заполненных воздухом. Резкое сокращение объема или полное захлопывание пор и полостей приводит к гидравлическим ударам локального действия — небольшого радиуса, но большого избыточного давления. Это явление приводит к взмучиванию и перемещению абразивной суспензии.

Чтобы производительность процесса не снижалась, необходимо обеспечить постоянное удаление продуктов обработки и разрушения из рабочей зоны и равномерное поступление новой порции суспензии. В наибольшей степени этому отвечает процесс вакуумного отсасывания продуктов обработки через отверстие в инструменте и нагнетание в рабочую зону новой суспензии с помощью нагнетательного насоса. Сам инструмент для ультразвуковой обработки изготавливается из вязкой углеродистой стали по форме, обратной (негативной) форме детали после ее обработки.

Абразивом для ультразвуковой обработки большинства материалов служит карбид бора, а для обработки очень твердых материалов используют корунд или карбид кремния.

При соблюдении технологического процесса обработки метод позволяет получать отверстия на глубину, равную пяти диаметрам выполняемого отверстия. Максимально возможный диаметр обрабатываемого отверстия определяется мощностью и прочностью конструкции станка, а минимально возможный для обработки диаметр — прочностью инструмента.

Максимальная производительность обработки достигается при амплитуде колебания акустической головки в пределах 0,02—0,06 мм и пропорциональна, примерно, квадрату амплитуды колебаний инструмента. Производительность обработки повышается с увеличением размера зерна абразива, однако надо помнить, что величина зерна абразива не должна превышать величины амплитуды колебания инструмента. Для черновой обработки карбидом бора зернистость должна быть 10—6, а для чистовой — более мелкая (5 и мельче). С увеличением размера зерна ухудшается точность и шероховатость поверхности обработки. Концентрация абразива в суспензии должна быть в пределах 30—40% по объему. Для устранения погрешностей, связанных с износом инструмента, рекомендуется обработку осуществлять последовательно двумя, а иногда и тремя инструментами.

Станки для ультразвуковой обработки отечественная промышленность поставляет универсальные и специализированные. Особенно хорошо зарекомендовал себя универсальный станок мод. 4770.

Кроме обработки материалов ультразвуковые колебания используют для дефектоскопии металлов, очистки деталей от коррозии, окалины, жировых загрязнений и т. п.

1.8. Вибрационная обработка деталей

Вибрационная обработка деталей по сравнению с другими традиционными видами лезвийной обработки является относительно новым и прогрессивным направлением. Она способствует интенсификации, усовершенствованию и разработке новых технологических процессов, повышает уровень механизации и автоматизации многих трудоемких работ, увеличивает экономическую эффективность и производительность труда, обеспечивает повышение качества и долговечности деталей.

Сущность вибрационной обработки заключается в том, что обрабатываемые детали и обрабатывающая среда (наполнитель) помещаются

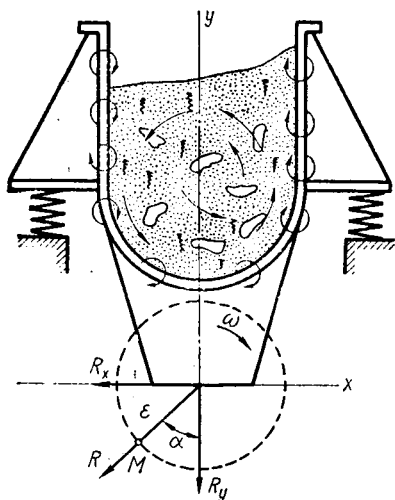
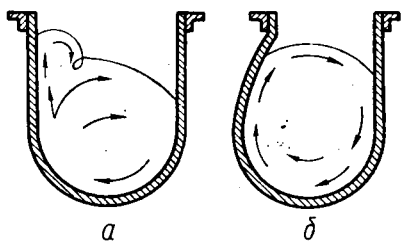


Рис. 34. Схема процесса виброобработки деталей:

M — вращающаяся неуровновешенная масса; R — возмущающая (центробежная) сила, получающаяся при вращении массы M ; R_x и R_y — горизонтальная и вертикальная составляющие силы R ; ω — угловая скорость вращения массы M ; ε — эксцентриситет массы M

Рис. 35. Схемы сечений рабочих камер



в контейнер, которому сообщается гармоническое колебательное движение (рис. 34). Источником этого движения является действие возмущающей силы R , образуемой при вращении неуровновешенной (с эксцентриситетом ε) массы M с угловой скоростью ω и жестко связанной с платформой, на которую установлена рабочая камера (контейнер). Рабочие камеры имеют γ -образное, но чаще u -образное сечение. Как показывают исследования [2], изменение формы сечения рабочей камеры путем скругления одной из стенок (рис. 35) улучшило и ускорило процесс обработки вследствие исключения дополнительно го завихрения в верхней части рабочей камеры с γ -образным сечением.

Рабочие камеры изготавливают из листовой стали методом сварки. Внутреннюю ее часть облицовывают резиной или пластмассой. Рабочие камеры виброустановок могут быть стационарными, съемными и опрокидывающимися. Они предназначены для передачи колебательных движений находящимся в них деталям и наполнителю. Последние в процессе работы виброустановки начинают перемещаться с частотой, равной (или кратной) частоте колебания рабочей камеры.

Вибрация деталей и частиц обрабатывающей среды, т. е. вибрация всей находящейся в рабочей камере массы, складывается из вынужденных колебаний (передаваемых массе рабочей камерой) и собственных колебаний массы, т. е. колебаний каждой частицы массы. В результате этого, а также разности в размерах частиц массы последние будут иметь различные траектории перемещений, определяемые вынужденными колебаниями системы.

Вследствие разности масс частицы обрабатывающей среды и загруженные для обработки детали получают разное ускорение, т. е. происходит их относительное перемещение. При этом частицы обрабатываемой среды (наполнителя) под давлением остальной массы прижимаются к поверхности обрабатываемых деталей, в результате чего происходит процесс резания. Большое количество микроударов, действующих на обрабатываемую деталь одновременно в различных направлениях,

способствует в некоторой степени удержанию ее во взвешенном состоянии, исключая таким образом грубые забоины и повреждения.

Для вибрационной обработки деталей необходимо, чтобы величина вибрационного ускорения ω была больше величины ускорения силы тяжести g ($\omega > g$), так как в противном случае массы деталей и наполнителя будут перемещаться в рабочей камере как одно целое.

Вибрационная обработка принципиально отличается от обработки во вращающемся барабане тем, что под действием вибрации обрабатывающая среда приобретает свойство текучести, благодаря чему происходят заполнение всего объема контейнера и всесторонняя обработка деталей, т. е. получается своеобразное взвешенное состояние массы в рабочей камере.

Процесс обработки в рабочих камерах виборустановок можно осуществлять всухую, с периодическим заполнением или непрерывной промывкой раствором требуемого состава. При обработке всухую процесс сопровождается образованием пыли, для отсоса которой и продувки камеры требуется усложнение конструкции за счет установки специального устройства. Исходя из этого большинство операций виброобработки производится с непрерывной или периодической подачей раствора. В состав жидкого раствора можно вводить различные химические добавки со специальными свойствами, позволяющими регулировать интенсивность процесса и качество обработки.

На интенсивность вибрационной обработки оказывают влияние режимы и продолжительность обработки, характеристики и размеры частиц рабочей среды, объем рабочей камеры и степень ее заполнения, механические свойства материала обрабатываемых деталей и ряд других факторов.

Вибрационная обработка характеризуется следующими параметрами: скорости частиц рабочей среды могут достигать 0,3—1 м/с; ускорения — 20—150 м/с²; силы микроударов — 1,5—3,0 кгс и более; возникающие при этом контактные давления в зависимости от размеров контактных площадок могут достигать от 15—30 до 700—1500 кгс/мм²; средняя температура в рабочей камере обычно не превышает 30—40° С.

В настоящее время вибрационная обработка деталей находит широкое применение на следующих операциях: удаление облоя на деталях, отлитых под давлением; удаление заусенцев с деталей после штамповки и механической обработки; очистка поверхностей деталей после литья в земляные формы, термообработки и подготовка их под покрытие; отделка (полировка) поверхностей деталей. Каждая из перечисленных операций имеет свои технологические особенности, однако общими для них являются: 1) использование в качестве абразива дробленой крошки из отходов шлифовальных электрокорундовых кругов на керамической основе с твердостью СТ-2-Т2 и ВТ1-ВТ2. 2) для отделочных операций могут применяться и такие естественные материалы, как мрамор, мел и др.; 3) грануляция абразивного материала подбирается из наиболее употребительных размеров 8—10, 20—25 и 30—35 мм; 4) специальный абразивный материал может применяться и меньше 8 мм; 5) в одном наполнителе могут применяться частицы,

отличающиеся по размерам и материалам (не выше 10 мм для обработки внутренних и не выше 35 мм для обработки наружных поверхностей деталей); 6) объемное соотношение деталей и наполнителя следующее: 10% объема рабочей камеры остается незаполненным, 30% оставшегося объема камеры отводится под детали, а 60% — под наполнитель; 7) при загрузке рабочей камеры следует чередовать слой деталей и слой абразива или загружать детали на ходу при снятой крышке камеры; 8) при более грубых очистных работах амплитуда вибрационного смещения берется больше, а частота вибрации ниже и наоборот при более тонких отделочных работах; 9) в качестве вспомогательных к основному абразивному материалу можно добавлять неактивные (с точки зрения режущих свойств) материалы в виде кусочков ремня, резины, деревянные, войлочные или фетровые кубики, шарики, цилиндрики или ролики из мягких металлических материалов, являющихся носителями абразивных частиц. Технологические возможности вибрационной обработки достаточно широки и определяются особенностями взаимодействия рабочей среды с поверхностью обрабатываемых деталей, режимами обработки и характеристикой рабочей среды.

1.9. Автоматизация вибрационной обработки

Если сравнивать технологические возможности вибрационной обработки с другими способами обработки деталей, например, во вращающемся барабане, то в ее пользу можно привести следующие доводы: наличие взвешенного состояния массы, позволяющей осуществлять обработку труднодоступных поверхностей тонкостенных, хрупких и ажурных деталей; наличие интенсивного перемещения, более высокой скорости перемещения и турбулизации потока, что позволяет значительно увеличить производительность процесса и добиться эффективного использования каждого участка рабочей камеры; оздоровление и облегчение условий труда рабочих, занятых на очистных и отделочных операциях, за счет герметизации процесса и использования «мокрой» обработки.

По сравнению с ручным способом выполнения операций по полировке и зачистке на кругах, опиловке заусенцев и облоя, обработке на ленточных станках и др. вибрационная обработка в десятки раз повышает производительность труда, улучшает качество обработки, облегчает и оздоравливает условия труда.

По сравнению с гидроабразивным и пескоструйным способами очистки деталей вибрационная обработка также в несколько раз повышает производительность труда, а возможность надежной герметизации процесса позволяет избавиться от опасности профессиональных заболеваний рабочих-зачистников.

Применение вибрационной обработки впервые позволило механизировать операции по удалению облоя с деталей, отлитых под давлением, по удалению заусенцев с тонколистовых штампованных деталей и по отделке поверхностей сложного профиля, которые раньше выполнялись только вручную.

Рассматривая вибрационную обработку как сложный технологический процесс в целом, нетрудно заметить, что такие его операции, как разделение, разгрузку, загрузку деталей и обрабатывающей среды, подачу жидкого наполнителя, можно автоматизировать. В большинстве случаев виброобработка применяется для обработки одновременно большого количества деталей небольших размеров, поэтому работа по их разделению от обрабатывающей среды вручную нелегкая, а в некоторых условиях и недопустимая. Для отделения деталей от обрабатывающей среды применяют сепараторы в виде встряхивающих сит, а также магнитные сепараторы для стальных деталей.

Разгрузку деталей через люк можно механизировать или автоматизировать путем установок на рабочей камере пневмо- или гидроцилиндра, связанного с механизмом открывания и закрывания крышки люка. Автоматизация загрузки деталей осуществляется с помощью различного рода транспортеров, конвейеров, желобов. После разгрузки и разделения деталей и обрабатывающей среды первые направляются на последующую обработку и контроль на транспортере, а обрабатывающая среда возвращается обратно в рабочую камеру с помощью элеватора. Установлением специального бака-отстойника и насоса можно осуществить автоматизацию подачи и отвода жидкости, поступающей в рабочую камеру. Автоматическое отключение всей установки с помощью реле времени позволяет вести контроль за продолжительностью обработки деталей в рабочей камере.

Все перечисленные автоматизированные установки носят название установок периодического действия, так как предназначены для автоматизации обработки деталей определенными партиями.

Для обработки непрерывно движущегося потока деталей более приемлемыми являются вибрационные установки непрерывного действия, т. е. с рабочей камерой проходного типа, и полностью автоматизированные.

Рабочие камеры проходного типа обычно изготовляют длинными для того, чтобы за время прохождения от одного края к другому детали прошли необходимую обработку.

Автоматизированные установки непрерывного действия обеспечивают непрерывность выполнения основных и вспомогательных элементов процесса, причем время обработки перекрывает все вспомогательные процессы. Эти установки на 25% производительнее установок, обрабатывающих детали отдельными партиями.

Новые виды вибрационной обработки разработаны путем введения в рабочую зону магнитного и теплового полей, электрохимического процесса и сообщения обрабатываемым деталям дополнительных движений. На этой основе созданы шпиндельная вибрационная обработка, виброабразивная электрохимическая обработка, магнито-виброабразивная обработка, вибрационная механотермическая обработка.

Основные патенты на метод вибрационной обработки (форма и технология изготовления абразивного инструмента для виброобработки, конструкции наиболее распространенных в настоящее время вибрационных установок с механизированным, полуавтоматическим и авто-

матическим циклом работ) находятся у западногерманской фирмы «Троваль». Широкое применение виброобработка деталей нашла и в других промышленно развитых социалистических и капиталистических странах. В СССР ЦНИИТМАШ создал промышленные вибрационные установки четырех типоразмеров: на 25, 125, 250 и 500 кг одновременной загрузки деталей (типа роликов) в рабочую камеру. Эти установки обозначаются ВУ-25, ВУ-125, ВУ-250 и ВУ-500 и по своим техническим и эксплуатационным характеристикам мало чем уступают зарубежным аналогичной емкости.

В настоящее время вибрационный метод обработки широко применяют для снятия остаточных напряжений в сварных конструкциях, заготовках, полученных методами литья и пластической деформации, а также при механической обработке их режущими инструментами. Так как высокие остаточные напряжения вызывают большие деформации, сказывающиеся на точности деталей, то снятие их является очень важной задачей в машиностроении.

Для решения этой задачи используют различные виды термической обработки — отпуск, низкотемпературный отжиг и искусственное старение, а также естественное старение.

Вибрационный метод по сравнению с перечисленными термическими способами снятия остаточных напряжений имеет ряд преимуществ: неизменность формы и размеров как результат полного отсутствия деформаций при выполнении технологической операции; исключение возникновения новых напряжений, которые могли бы появиться при нарушении заданного режима термической обработки; сокращение длительности процесса и производственных площадей; относительно небольшие капитальные затраты на оборудование; универсальность, портативность и простота обслуживания.

При вибрационном методе снятия напряжений в металл детали вводится энергия колебаний с резонансной или близкой к ней частотой. В этих условиях в детали возникают дополнительные напряжения, которые, суммируясь с первоначальными остаточными напряжениями, создают еще более напряженное состояние. Благодаря такому состоянию в поликристаллическом материале происходят сдвиги кристаллической решетки, сопровождающиеся перераспределением напряжений, а молекулы приходят в равновесное состояние. Таким образом, напряжения в пределах отдельных зерен и на их границах уменьшаются.

Длительность процесса находится в зависимости от материала детали, ее размеров и конфигурации и обычно колеблется в пределах от нескольких минут до одного часа. При вибрационном методе снятия остаточных напряжений нельзя допускать, чтобы частота вибраций превышала частоту собственных колебаний изделия, так как в его материале могут появиться усталостные напряжения.

Для снятия напряжений вибрационным методом в деталях или изделиях небольших размеров и массы используют специальные вибрационные стенды, а для больших размеров и масс (до 150 т) — метод индивидуального крепления вибраторов в определенных местах деталей или изделий. Вибрационный метод снятия остаточных напряжений

нельзя назначать для деталей с низкими прочностными характеристиками и обнаруженными микродефектами, так как это может привести к их разрушению.

1.10. Обработка материалов лазерным излучением (лазерная технология)

Лазер или оптический квантовый генератор (ОКГ) представляет собой источник оптического когерентного излучения, характеризующегося высокой направленностью и большой плотностью энергии. В зависимости от вещества, используемого для создания активных сред в лазерах, последние бывают газовые, жидкостные и твердотельные. В настоящее время известно свыше 200 лазерных материалов в виде монокристаллов и стекол с активными примесями (например, ионата хрома и неодима), некоторые полупроводниковые материалы, газы и их смеси, растворы органических красителей, пары металлов и др.

Для решения технологических задач по обработке материалов световым лучом наиболее пригодными являются оптические квантовые генераторы, у которых в качестве рабочего тела используется неодимовое стекло CaWO_4 с примесью неодима Nd^{3+} или рубин, состоящий из окиси алюминия Al_2O_3 с 0,05% хрома (Cr^{3+}). Все поверхности рабочего тела должны быть отполированными с оптической точностью до одной угловой минуты. Существуют лазеры непрерывного и импульсного излучения (рис. 36).

Пользуясь упрощенными представлениями об энергетических состояниях атомов веществ, можно раскрыть принцип действия оптического квантового генератора. Основным, т. е. неограниченным во времени состоянием атомов любого вещества, является такое, при котором их энергия минимальна. При внешнем воздействии на атом энергия его увеличивается, и он (на очень короткое время) переходит в возбужденное состояние.

При переходе (возвращении) из возбужденного состояния в основное атом излучает квант электромагнитного излучения (фотон) с энергией, равной

$$E = h\gamma, \quad (63)$$

где h — постоянная Планка, равная $6,625 \cdot 10^{-27}$ эрг · с; γ — частота излучения (для видимого света $\gamma = 10^{14} \div 10^{15}$ Гц).

Таким образом, если есть система атомов, находящихся в двух энергетических состояниях E_1 и E_2 , и переход их из одного состояния в другое носит излучательный характер, то в этом случае под действием электромагнитного поля атомы из состояния E_1 могут переходить в состояние E_2 с поглощением фотонов, а возвращаться из состояния E_2 в состояние E_1 — с испусканием фотонов. При этом частоту поглощенного или испущенного системой излучения можно определить по уравнению [14]

$$\gamma = \frac{E_2 - E_1}{h}. \quad (64)$$

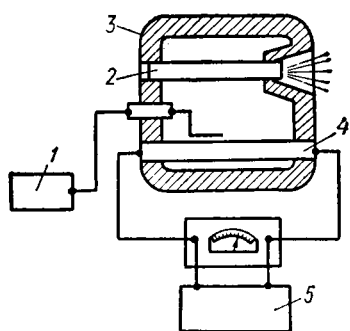


Рис. 36. Конструктивная схема ОКГ:

1 — поджигающее устройство; 2 — рубин; 3 — отражатель; 4 — лампа подкачки; 5 — зарядное устройство

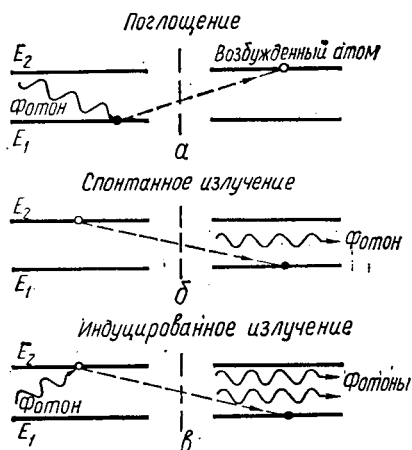


Рис. 37. Схемы поглощения и излучения фотонов при возбуждении атомов вещества светом

Наблюдая за процессом облучения некоторых твердых тел светом (потоком фотонов) заметили, что при падении фотона на атом, находящийся в состоянии с наименьшей энергией E_1 , последний поглощает падающий фотон и переходит в состояние с более высоким уровнем энергии E_2 , т. е. возбужденное состояние (рис. 37, а). При самостоятельном переходе (без воздействия извне) атома из состояния E_2 в состояние E_1 происходит излучение фотона (рис. 37, б). Это самопроизвольное излучение принято называть спонтанным. В том случае, если на возбужденный атом в состоянии E_2 попадает дополнительный фотон, последний вынуждает возбужденный атом испустить фотон волны той же длины. Сам же атом переходит в состояние с низшей энергией E_1 и излучает еще один фотон (рис. 37, в). Этот процесс принято называть процессом индуцированного или вынужденного излучения, положенного как физическое явление в основу разработки различных конструкций оптических квантовых генераторов.

В современных конструкциях оптических квантовых генераторов по торцам рабочего тела (рубина или неодимового стекла) расположены специальные зеркала, усиливающие световые колебания в период облучения («подкачки») кристалла мощным источником света. Благодаря отрагательной способности определенной системы зеркал происходит вынужденное излучение внутри кристалла. Так как возбужденные атомы испускают фотоны с волной той же длины, что и волны падающих фотонов, получается практически когерентное монохроматическое излучение, фокусируемое специальной линзой с образованием луча света высокой интенсивности. Фокусировка выходного луча дает возможность сосредоточить всю его энергию при очень малых поверхностях (до $0,00008 \text{ см}^2$). Плотность излучения можно достичь до $100\,000 \text{ кВт/см}^2$. Облучаемую поверхность в очень короткое время можно нагреть до 8000° С .

При таких характеристиках светового луча в месте его локализации практически происходит мгновенное испарение любого металла и материала при наружной комнатной температуре. Это позволило использовать световой луч оптического квантового генератора для обработки труднообрабатываемых жаропрочных, нержавеющей сталей и металлокерамических материалов; возникла так называемая лазерная технология. Возможности лазерной технологии еще не полностью изучены, но уже сейчас с помощью лазера можно пробивать отверстия диаметром до 0,05 мм в закаленном металле толщиной от 0,1 до 3,0 мм, осуществлять сварку и резку металла на очень малых участках (порядка 1 мкм и менее). Использование способности лазерного луча беспрепятственно проходить через стекло позволило сваривать металлы и получать отверстия в них внутри стеклянных аппаратов или баллонов. Перспективы лазерной технологии большие и по мере устранения недостатков, свойственных оптическим квантовым генераторам (сравнительно низкий к. п. д. и небольшая мощность излучения), она позволит решить многие задачи металлообработки, в том числе и безотходной гигиенической технологии.

Глава 2

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ МАШИН

2.1. Понятие о технологичности.

Показатели и факторы, определяющие технологичность конструкции машин

Одним из основных требований к машине, а следовательно, и к ее деталям является технологичность конструкции.

Под *технологичностью конструкции* деталей понимают степень их соответствия производственным условиям, позволяющим применить технологические процессы, обеспечивающие изготовление деталей с наибольшей производительностью и наименьшей себестоимостью для данного масштаба производства.

В настоящее время еще нет конкретных измерителей технологичности конструкции деталей. Поэтому технологичной конструкцией считается та, которая в большей степени отвечает требованиям технологии. Это в равной степени относится к выбранному материалу детали и ее термической обработке, к геометрической форме и размерной схеме ее, точности обработки и шероховатости поверхности.

Применительно к машине технологичность ее конструкции определяется рядом показателей, которые можно разделить на две группы. К одной из них относятся показатели эксплуатационных качеств, т. е. производительность, надежность, долговечность, функциональное соответствие и ремонтнопригодность.

Эксплуатационная надежность машины представляет собой вероятность того, что на протяжении определенного заданного времени в

определенных условиях эксплуатации машина будет безотказно выполнять свои служебные функции.

Таким образом, надежность машины является одним из основных количественных критериев качества, поэтому ее значение может характеризоваться коэффициентом работоспособности:

$$k_p = \frac{t_{б.р}}{t_{б.р} + t_{п.р}}, \quad (65)$$

где $t_{б.р}$ — время безотказной работы машины; $t_{п.р}$ — время простоя машины из-за плановых ремонтов, наладки и аварийных ремонтов.

Судя по характеристике количественного значения надежности, можно сказать, что надежность машины закладывается при проектировании, обеспечивается в процессе изготовления и поддерживается в эксплуатационных условиях.

Под долговечностью понимается время, в течение которого машина в нормальных условиях эксплуатации выполняет свои служебные функции до первого капитального ремонта или замены ее новой.

Под ремонтнопригодностью машины понимают ее приспособленность к предупреждению, обнаружению и устранению неисправностей, к выполнению любого вида ремонта. Если для двух одинаковых по сложности и степени износа машин (при прочих равных условиях) требуется различное время для возвращения их в рабочее состояние, то о машине, на возвращение которой в рабочее состояние потребовалось меньше времени, судят как о более ремонтнопригодной. Таким образом, затрата времени на возвращение машины в рабочее состояние может выступать в качестве критерия при оценке уровня ремонтнопригодности.

К другой группе относятся показатели экономичности производства машин, а именно: металлоемкость, трудоемкость, длительность производственного цикла и общие затраты на изготовление.

Различают металлоемкость конструктивную и технологическую. Характеристикой конструктивной металлоемкости является отношение массы машины к ее мощности или другому основному параметру технической характеристики.

Показателями технологической металлоемкости является коэффициент использования металла. И если речь идет о детали, то будем иметь

$$k_{н.м} = \frac{Q_d}{Q_з}, \quad (66)$$

где Q_d — масса готовой детали, кг; $Q_з$ — масса заготовки, кг.

Технологичной конструкцией называется такая, которая позволяет изготовить машину или деталь наиболее производительными методами, обеспечивающими минимальные трудоемкость и металлоемкость, при соблюдении заданных технических требований к ней.

Трудоемкость и металлоемкость изготовления машины или детали зависят не только от ее конструкции, но и в значительной степени от выбранного технологического процесса, его оснащенности и режимов обработки.

Исходя из этого при определении технологичности конструкции машины необходимо исключить влияние принятого технологического процесса для того, чтобы определить степень технологичности данной конструкции как отношение трудоемкости ее изготовления к трудоемкости изготовления других конструктивных вариантов этой машины в аналогичных, сопоставимых производственных условиях, т. е. чтобы было соблюдено равенство

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad (67)$$

где K_1 и K_2 — технологичность конструкции двух конструктивных вариантов машины; T_1 и T_2 — трудоемкость их изготовления при одинаковых производственных условиях и одинаковом количестве выпуска. Тогда технологичность первого варианта

$$K_1 = mK_2,$$

где m — степень технологичности первого конструктивного варианта, равная отношению $\frac{T_1}{T_2}$.

Если конструктивных вариантов не два, а n , то степень их технологичности составит

$$m_1 = \frac{T_1}{T_n}; \quad m_2 = \frac{T_2}{T_n}; \quad m_3 = \frac{T_3}{T_n}; \quad m_{n-1} = \frac{T_{n-1}}{T_n}. \quad (68)$$

Общая трудоемкость изготовления машины должна рассматриваться как трудоемкость изготовления отдельных ее деталей и сборочных единиц, а технологичность конструкции можно рассматривать как сумму технологичности конструкций ее отдельных сборочных единиц, деталей.

Общая трудоемкость изготовления машины определяется только после разработки технологии ее производства, т. е. когда конструкция машины уже создана. Технологичность же машины, деталей и сборочных единиц необходимо оценивать в процессе ее создания путем технологического контроля рабочих чертежей и внесения при необходимости соответствующих конструктивных изменений.

Для объективного суждения о технологичности конструкции машины, ее деталей и сборочных единиц необходимо учитывать ряд положительных факторов, которые определяют технологичность конструкции. К ним относятся: 1) выбор таких форм деталей, которые обеспечили бы возможность изготовления черновых заготовок с наименьшими припусками и наименьшим количеством обрабатываемых поверхностей с применением наиболее прогрессивных методов производства; 2) наименьшая масса машины; 3) наименьшее количество наименований применяемых материалов в конструкции машины; 4) взаимозаменяемость деталей и сборочных единиц с оптимальными значениями полей допуска; 5) возможно большая жесткость конструкции, обеспечивающая условия назначения увеличенных режимов резания; 6) доступность обрабатываемых поверхностей для режущего инструмента, а также для наблюдения и контроля в процессе обработки; 7) наличие у детали поверхностей, которые могут служить удоб-

ными и надежными базами для обработки и исключают необходимость вспомогательных баз, требующих, как правило, дополнительных операций обработки; 8) целесообразная степень точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей, отвечающая требованиям эксплуатации; 9) максимальная нормализация и унификация как деталей, так и отдельных их элементов: диаметров, резьб, посадок и т. д.

2.2. Количественный метод оценки технологичности конструкции машин

В ряде случаев общую оценку технологичности конструкции машины дают не по трудоемкости ее изготовления, а по признакам унификации сборочных единиц, деталей и отдельных конструктивных элементов деталей. Этот метод носит название количественной оценки технологичности конструкции машин.

Критерием технологичности в этом случае является коэффициент унификации деталей, представляющий собой отношение количества наименований унифицированных деталей или их элементов к общему количеству деталей или их элементов в машине без учета стандартных крепежных деталей.

В практике часто под коэффициентом унификации подразумевается отношение количества оригинальных деталей n к общему числу деталей в машине N :

$$y = \frac{n}{N}. \quad (69)$$

Задачи унификации заключаются в том, чтобы свести количество оригинальных деталей n к возможному минимуму без ущерба эксплуатационных показателей машины. Чем меньше отношение $\frac{n}{N}$, т. е. чем меньше коэффициент унификации y , тем выше степень унификации деталей машин ε , которая является обратной величиной коэффициента унификации, т. е.

$$\varepsilon = \frac{1}{y}.$$

В любой машине все детали могут быть сгруппированы по классам технологической классификации, т. е. по конструктивным признакам, размерностям, массе и общности технологического процесса их изготовления, и может быть установлен коэффициент унификации деталей каждого класса. В этом случае средний коэффициент унификации деталей всей машины определяется как среднее арифметическое из суммы отдельных значений коэффициента унификации по классам:

$$y_{\text{ср}} = \frac{1}{x} \sum_{i=1}^x \frac{n}{N}, \quad (70)$$

где x — количество классов, по которым сгруппированы детали машины.

По такому же методу определяется технологичность конструкции машины по степени унификации отдельных конструктивных элементов, например резьб, отверстий, диаметров шеек и т. д.

Наиболее технологичной конструкцией машины считается та, в которой степень унификации отдельных конструктивных элементов наибольшая.

Глава 3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

3.1. Техничко-экономические принципы проектирования и основные случаи технологических разработок

Разработка технологического процесса на изготовление той или иной детали, узла или машины на машиностроительных предприятиях, как правило, осуществляется в технологических отделах или бюро с привлечением специалиста, хорошо знающего как организационно-техническую базу предприятия в целом, так и обладающего необходимым навыком проектирования.

При разработке технологического процесса технолог должен руководствоваться двумя принципами: техническим и экономическим с учетом требований соответствия изделия лучшим мировым стандартам.

Основой технического принципа является условие полного выполнения всех требований чертежа и технических условий на изготовление заданных изделий. Основой экономического принципа является условие изготовления изделия с минимальными затратами труда и минимальными издержками производства.

Другими словами, технологический процесс должен выполняться с правильным и наиболее полным исследованием всех технических возможностей оборудования, инструмента и приспособлений при наименьшей затрате времени и наименьшей себестоимости изделий.

С позиций технического принципа проектирования разработку техпроцесса механической обработки можно выполнить в нескольких вариантах. Задачей технолога является выбор наиболее эффективного (т. е. производительного) и рентабельного варианта. Если сопоставляемые варианты равны по производительности, назначается наиболее рентабельный из них, а при одинаковых рентабельностях — наиболее производительный. Если сопоставляемые варианты техпроцесса различны по производительности и рентабельности, следует назначать тот, который наиболее рентабельный, но при условии, что производительность всех сравниваемых вариантов не ниже заданного.

Наиболее производительный процесс без учета его рентабельности назначается в исключительных случаях в рамках данного завода, а именно: для ликвидации «узких» мест производства, необходимости срочного выпуска важной продукции и только на определенный период времени.

Выявление эффективности и рентабельности каждого сравниваемого варианта техпроцесса производится по всем элементам затрат или путем расчета по укрупненным показателям.

Назначенный технологический процесс является основанием для получения исходных данных календарного планирования, организации материально-технического снабжения, инструментального и транспортного хозяйства, а также организации технического контроля и т. д.

Разработка технологических процессов обязательна при проектировании новых и реконструкции существующих заводов, а также при организации выпуска новых изделий на действующих заводах. Кроме этого, разработка или корректировка техпроцессов на действующих заводах неизбежна в результате текущих конструктивных усовершенствований выпускаемых изделий и необходимости использовать новейшие достижения науки и техники с целью выпуска лучших образцов изделий.

3.2. Методика и последовательность проектирования технологических процессов механической обработки

Учитывая, что проектирование технологического процесса является сложной, трудоемкой и многовариантной задачей, его рекомендуется осуществлять в несколько стадий, выполняемых в определенной последовательности.

Вначале делаются предварительные наброски техпроцесса, которые уточняются и конкретизируются на основе детальных разработок на последующих стадиях.

К правильному и приемлемому выводу удастся приблизиться не сразу, а после ряда попыток и проверок. Чтобы выиграть время, т. е. сократить его на разработку техпроцесса, необходимо сопоставление и выбор варианта производить на предварительных стадиях проектирования.

На степень углубленности технологической разработки оказывает влияние в основном тип производства. В условиях массового производства технологический процесс разрабатывается подробно и на все детали изделия. В условиях единичного производства, как правило, ограничиваются сокращенной разработкой, так как подробная разработка экономически себя не оправдывает. Если обработке подлежат сложные дорогостоящие детали, то, несмотря на индивидуальность их производства, технологические процессы разрабатывают подробно. Если заводом выполняется широкая номенклатура выпускаемых изделий в серийном производстве, то в этих случаях рекомендуется разрабатывать групповые технологические процессы.

Процесс проектирования состоит из целого комплекса взаимосвязанных этапов, которые выполняются в определенной последовательности. К ним относятся: определение типа производства; выбор метода получения заготовки и установление предъявляемых к ней требований; выбор баз; составление маршрута обработки отдельных поверхностей и детали в целом; предварительная наброска содержания

операций; выбор оборудования, приспособлений и инструмента; установление режимов резания; определение настроечных размеров; установление норм времени и квалификации и т. д.

Перечисленные этапы проектирования охватывают все вопросы, непосредственно связанные с обработкой и контролем деталей, приемкой, покраской и упаковкой готовых изделий, разработкой соответствующих средств по механизации и автоматизации этих работ. Для решения задачи проектирования технологю необходимо иметь следующие исходные материалы: 1) рабочие чертежи деталей, определяющие материал, технические условия, конструктивные формы и размеры; 2) сборочные чертежи узлов и машины в целом с конкретными техническими требованиями или характеристикой их; 3) данные о типе производства и количестве деталей на годовую программу, а если производство серийное, то и величину серии. Годовую программу следует рассчитывать, исходя из необходимого количества деталей (одних и тех же), входящих в машину, и количества, идущего на запасные части, т. е.

$$П = П_1 m \left(1 + \frac{n}{100} \right), \quad (71)$$

где $П_1$ — производственная программа изделий в год; m — число деталей на изделие; n — процент запасных частей данной детали; 4) технические или паспортные данные станочного парка, а также количество, вид и состояние имеющихся станков; 5) сведения о наличии на заводе нормализованной или специальной оснастки, применяемой при обработке этих деталей, а также наличие чертежей на нее.

В качестве справочных и руководящих материалов при проектировании техпроцессов могут быть использованы: альбомы нормалей, приспособлений и инструментов, стандарты на инструменты, детали и узлы приспособлений; стандарты и производственные нормали на припуски и допуски для поковок, штамповок, отливок и заготовок из проката; заводские или отраслевые нормали операционных припусков и допусков; нормы точности станков и приспособлений; разработанные уже техпроцессы на аналогичные детали на заводе или в проектной организации и другие руководящие документы.

Имея эти исходные, справочные и руководящие материалы, технолог проверяет технологичность конструкции и производит технологический контроль размерных цепей. Убедившись в отсутствии ошибок, он приступает к разработке технологического процесса обработки деталей и оформлению соответствующей технологической документации (специальных карт).

3.3. Порядок составления маршрутной карты обработки детали

Маршрутная карта содержит описание технологического процесса изготовления и контроля детали по всем операциям. Ее цель — дать общий план обработки детали. При этом производится разбивка процесса на операции и выбор последовательности операций;

выбор типов и размеров станков, типов приспособлений для каждой операции.

Для решения этих задач необходимо руководствоваться следующими указаниями: вначале обрабатывают поверхности, принятые за установочные базы. Затем обрабатывают поверхности в последовательности, обратной их точности, т. е. чем точнее должна быть поверхность, тем позже она должна обрабатываться. В конце маршрута выносят обработку легкоповреждаемых поверхностей, например наружных резьб, шлицев и т. п. Поверхности, на которых не допускается наличие раковин и других дефектов, обрабатываются вначале начерно, а в подозрительных случаях и начисто.

При обработке точных ответственных деталей машин обработку делят на три последовательные стадии: черновую, чистовую и отделочную. Необходимость этого диктуется тем, что чередование только черновой и чистовой обработок не в состоянии обеспечить заданную точность. Кроме того, внесение отделочной операции в конец обработки уменьшает риск случайного повреждения окончательно обработанных поверхностей в процессе их получения и транспортирования детали.

Если деталь подвергается термической обработки, то технологический процесс механической обработки расчленяется на две части: процесс до термообработки и после нее. Очень часто детали после термообработки коробятся, поэтому в техпроцессе после термообработки следует предусматривать операцию рихтовки, правки или повторную механическую обработку для устранения полученных в процессе термообработки отклонений.

Операции второстепенного характера, такие как сверление мелких отверстий, прорезание канавок, обтачивание фасок, снятие заусенцев и т. д., рекомендуется выполнять на стадиях чистовой обработки, так как на предшествующих стадиях выполнение этих операций может меняться.

Операции технического контроля обычно намечаются после тех этапов обработки, где вероятно повышенное количество брака, перед сложными и дорогостоящими операциями, а также в конце обработки.

Если в цехе оборудование расставлено по видам обработки, то последовательность обработки следует устанавливать с учетом возможного сокращения путей транспортировки деталей.

В массовом производстве содержание операций определяется из условия, чтобы их длительность была равной или кратной темпу.

3.4. Порядок проектирования операционной технологии

Прежде чем приступить к проектированию отдельной операции механической обработки, т. е. операционной технологии, необходимо изучить маршрутную карту обработки, схему установки заготовки, какие поверхности надо обработать и с какой точностью, точность обработки на предшествующих операциях, припуск на обработку и другие данные в соответствии с типом производства.

В процессе самого проектирования уточняется содержание операции, намеченное ранее в маршрутной карте, устанавливается последовательность и возможность совмещения переходов во времени, выбирается оборудование, инструменты и приспособления (в случае их отсутствия выдается задание конструирования), назначаются режимы, определяется норма времени на выполнение операции, устанавливаются настроечные размеры и составляется схема наладки.

В любом варианте проекта операционной технологии необходимо стремиться к уменьшению штучного времени.

Одним из наиболее эффективных путей уменьшения штучного времени является изыскание возможностей перекрытия оперативного времени. Такие возможности зависят от числа устанавливаемых для обработки заготовок; от числа участвующих в обработке инструментов; от порядка обработки поверхностей этим инструментом и др.

По числу устанавливаемых для обработки заготовок схемы станочных операций можно разделить на одно- и многоступенчатые, а по числу используемых инструментов — на одно- и многоинструментальные.

При обработке поверхностей инструменты могут вступать в работу последовательно или параллельно, сами же заготовки (если их несколько) могут располагаться относительно режущего инструмента также последовательно или параллельно. Все это влияет на возможность и условия совмещения переходов во времени. Поэтому принято различать операции последовательного и параллельно-последовательного выполнения.

Одноместные схемы обработки исключают возможность перекрытия времени установки и съема заготовки основным временем. У многоместных схем имеется возможность перекрытия времени установки и съема заготовок.

При последовательных схемах невозможно перекрытие переходов обработки во времени и в штучное время входит сумма времен всех переходов. Параллельные и параллельно-последовательные схемы дают такую возможность, и учитываемое в штучном времени основное время равно времени лимитирующего перехода или сумме времен нескольких лимитирующих переходов.

3.5. Концентрация и дифференциация операций технологических процессов

Существуют два принципиально различных направления в проектировании технологических процессов обработки деталей машин: концентрация операций, т. е. объединение нескольких операций в одну; дифференциация операций, т. е. расчленение одной операции на несколько простейших операций.

В единичном, мелкосерийном, а иногда и в серийном производстве концентрация операций осуществляется на станках универсального типа (токарных, токарно-револьверных, фрезерных) последовательной обработкой ряда поверхностей у одной детали. Поэтому такую организацию работы называют последовательной концентрацией технологического процесса.

В крупносерийном и массовом производстве концентрация операций осуществляется на многоинструментальных и многошпиндельных, а также на специализированных и агрегатных станках, позволяющих выполнять ряд операций одновременно с незначительной затратой времени. Поэтому такая организация работ называется параллельной концентрацией технологического процесса.

Преимущества принципа концентрации операций заключаются в значительном сокращении времени обработки и в сокращении производственных площадей. К недостаткам следует отнести: относительную сложность настройки инструмента; значительные отжаты и нагрев детали в процессе обработки ее несколькими одновременно работающими инструментами, что, безусловно, сказывается на точности обработки.

Основными преимуществами принципа дифференциации техпроцесса являются: простота настройки оборудования, вследствие чего не требуется больших затрат времени и средств при смене объекта обработки. Это очень важно для заводов серийного производства, где за станками закрепляют несколько обрабатываемых деталей и приходится часто переналаживать оборудование; возможность вести обработку при наиболее выгодном режиме резания, так как последний устанавливается для каждого инструмента отдельно и оптимальный. К недостаткам принципа дифференциации операций можно отнести: большое количество операций, требующее многократной установки и снятия заготовки в процессе обработки. Это увеличивает вспомогательное время, а следовательно, и весь производственный цикл; увеличение числа приспособлений для обработки деталей и вследствие этого удлинение периода подготовки производства; потребность в большей производственной площади, так как в этом случае используется большее число станков для производства заданного количества деталей.

Выбор того или иного принципа построения технологического процесса в общем случае зависит от типа производства, характера обрабатываемых деталей и наличного приобретаемого оборудования.

3.6. Типизация технологических процессов

Для обработки одной и той же детали можно построить несколько вариантов технологического процесса с применением различных методов обработки. На выбор варианта оказывает влияние много факторов: тип производства, оснащенность завода и другие производственные условия. Однако даже при одинаковых производственных условиях и программе технологические процессы часто отличаются друг от друга и поставленные задачи решаются по-разному, в зависимости от установившихся приемов и опыта технического персонала. А если учесть, что разработка техпроцессов — работа сложная и трудоемкая, то станет очевидным фактом необходимость упростить и ускорить разработку техпроцессов. Для решения этой задачи была предложена типизация технологических процессов, разработанная впервые профессором А. П. Соколовским.

Типизация заключается в том, что одинаковые и схожие в конструктивно-технологическом отношении детали должны обрабатываться технологически одинаково.

Типизация технологических процессов базируется на классификации деталей. Как показал опыт машиностроения, наиболее правильным признаком для классификации машин, сборочных единиц и деталей является одинаковое или близкое их служебное назначение.

В основе классификации лежит разбивка обрабатываемых деталей на классы, подклассы, группы, подгруппы и типы по общности конфигурации и технологических задач при их обработке.

Наиболее общим и крупным подразделением деталей является класс. Детали машин разбиты на следующие основные классы [6]: валы, втулки, диски, эксцентричные детали, крестовины, рычаги, плиты, стойки, угольники, бабки, зубчатые колеса, ходовые винты и червяки, фасонные кулачки и крепежные детали.

Детали каждого класса разбивают на группы, подгруппы и типы в соответствии с наиболее характерными отличительными особенностями формы, размеров, получая таким образом совокупности деталей, все более близких между собой и все более схожих по технологическим признакам, т. е. являющихся типовыми. Например, в классе валов можно наметить такие группы: гладкие валы и оси, ступенчатые валы, валы-шестерни т. д. Далее группу разбивают на подгруппы. Например, группу ступенчатых валов можно разбить на подгруппы: полуоси, валы и т. д. Последним подразделением является тип.

В каждом типе машин, сборочных единиц и деталей выбирается типовая машина, сборочная единица или деталь, которая наиболее полно представляет служебное назначение данного типа. На каждую типовую единицу разрабатывается типовой технологический процесс. Пользуясь типовыми технологическими процессами, технолог может разработать рабочий технологический процесс обработки.

Типовые технологические процессы облегчают труд технолога, сокращают время, потребное на разработку технологического процесса, и позволяют внедрить наиболее передовые, производительные и экономичные техпроцессы, оборудование и технологическую оснастку.

Типизация технологических процессов оказала влияние на развитие поточного производства деталей машин и явилась научной базой для создания переменного-поточных линий. Это позволило повысить уровень организации производства и производительность труда главным образом в крупносерийном и серийном производстве.

3.7. Разработка групповых технологических процессов

Разновидностью типизации технологических процессов является метод групповой обработки деталей, применяемый в серийном и единичном производстве. Этот метод разработан профессором С. П. Митрофановым и предусматривает переход от разработки индивидуальных технологических процессов на каждую деталь к созданию процессов на группы деталей.

Прежде чем приступить к разработке групповых технологических процессов, необходимо обрабатываемые детали классифицировать. В отличие от классификации при разработке типовых процессов при групповой технологии в основу положен принцип разбивки деталей по применяемому для обработки оборудованию. В этом случае создаются классы деталей, обрабатываемые на токарных, фрезерных, строгальных, сверлильных и других типах станков. В пределах каждого класса создаются группы, являющиеся конечной целью классификации.

При объединении деталей в группы должны учитываться габариты деталей, так как они определяют размеры станков и приспособлений, необходимых для их изготовления. При создании групп учитывают геометрическую форму деталей, размеры, точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей, годовую программу выпуска, однородность заготовок, т. е. все то, что оказывает влияние на выбор оборудования, приспособлений, режущего инструмента и настройку станка.

Методы разработки типовых и групповых технологических процессов имеют принципиальное отличие: *типовая технология* составляется на детали, имеющие общность содержания и последовательности операций технологического процесса, а *групповая* разрабатывается для деталей, имеющих общность оборудования и технологической оснастки, используемой для их обработки на заводе.

За основу при группировке деталей берется характерная деталь данной группы, которая называется комплексной.

Комплексная деталь должна иметь все геометрические элементы и элементарные поверхности, встречающиеся на деталях данной группы, с тем, чтобы технологический процесс ее обработки мог быть применен с небольшими дополнительными подналадками оборудования при изготовлении любой детали своей группы. Такая комплексная деталь может быть реальной и условной.

Реальной комплексной деталью должна быть наиболее сложная деталь этой группы, содержащая все элементы поверхностей деталей, входящих в группу. Если такую деталь в группе подобрать невозможно, то за комплексную деталь может быть принята условная, искусственно созданная деталь. На такую комплексную деталь и разрабатывается технологический процесс обработки по изложенным ранее правилам.

3.8. Виды технологических документов

К технологическим документам относятся графические и текстовые документы, которые в отдельности или в совокупности определяют технологический процесс изготовления изделия и содержат необходимые данные для организации производства.

Основные виды технологических документов: маршрутная карта; операционная карта; карта технологического процесса; карта эскизов; ведомость материалов; ведомость оснастки; операционная карта

технического контроля и другие не основные технологические документы.

Маршрутная карта содержит описание технологического процесса изготовления и контроля детали по всем операциям различных видов работ в технологической последовательности с указанием данных об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых нормативах. Маршрутные карты имеют определенную форму с соответствующей разбивкой на графы, в которые вносят все данные, относящиеся к заготовке и к технологическому процессу ее обработки.

Маршрутная карта механической обработки состоит из верхней и нижней частей, являющихся основными. В верхней части карты помещают все необходимые сведения об изготавливаемой детали и ее заготовке, а в нижнюю часть вписывают проектируемый план обработки и все относящиеся к нему расчеты.

Вписывание производится в специально предусмотренные графы для описания проектируемого технологического процесса с подразделением на операции, с указанием необходимых станков, приспособлений, режущего и измерительного инструментов, а также с указанием коэффициента штучного времени, числа рабочих, профессий и разрядов работы, тарифной сетки, видов норм, единиц нормирования, подготовительно-заключительного и штучного времени и расценок.

Операционная карта представляет собой более подробный документ и содержит описание операции технологического процесса изготовления детали с расчленением по переходам, с указанием оборудования, оснастки и режимов резания. В содержание операции (перехода) должно быть включено: наименование метода обработки, выраженное глаголом в повелительной форме; наименование обрабатываемой поверхности, материала и детали; количество одновременно обрабатываемых поверхностей. При одновременной обработке в операции (переходе) нескольких поверхностей в тексте перечисляются все обрабатываемые поверхности.

Основанием для составления операционной карты является маршрутная карта. Как маршрутная, так и операционная карты составляются отдельно на каждую деталь, подлежащую обработке. Отдельно составляется технологическая карта сборки всей машины.

Карта эскизов содержит графическую иллюстрацию технологического процесса изготовления детали по операциям. При выполнении эскизов на каждую операцию рекомендуется соблюдать определенные правила и условия: деталь на эскизе располагают в рабочем положении, т. е. так же, как на станке (горизонтально, вертикально или наклонно); при многопозиционной обработке эскиз выполняют для каждой позиции отдельно; инструменты указывают в конце обработки поверхности заготовки в конечном положении; обработанные поверхности указывают сплошной линией толщиной, равной от S до $2S$, черным цветом, а базовые поверхности — условными обозначениями по ГОСТу; на обработанных поверхностях проставляют размеры с допусками и расстояния от баз; допуски указывают «в тело», т. е. для наружных цилиндрических и плоских поверхностей «в минус»,

а для отверстий «в плюс»; движения заготовки и инструментов указывают стрелками; при выполнении эскизов револьверной операции указывают позиции револьверной головки с инструментами в них; в каждой позиции показывают то положение инструмента, в котором он находится в конце обработки поверхности; в эскизе на базовых поверхностях показывают условные обозначения установочных элементов, а также местоположение и направление действия зажимных сил.

На чертежах наладок вычерчивают конструкции установочных и зажимных элементов, связывая их с положением заготовки и инструментов в пространстве; указывают место закрепления инструментов; номер и наименование операции рекомендуется приводить в верхнем левом углу чертежа, а модель станка — в правом.

Для агрегатных станков указывают количество головок и шпинделей, а также модель и мощность головок. Эти характеристики можно приводить вместе с режимами резания в нижнем левом углу чертежа наладки. На карте эскизов в обязательном порядке изображается (или отдельно прилагается) чертеж детали с указанием обрабатываемых поверхностей, их окончательных размеров с допусками, требуемой шероховатостью, а также размерами заготовки и припусками на механическую обработку. Если эскиз (чертеж) изделия, сборочной единицы или детали выполнен на карте эскизов в нескольких проекциях с применением необходимого количества разрезов, сечений и выносных элементов и все размеры обрабатываемых и контролируемых поверхностей условно пронумерованы арабскими цифрами в соответствии с требованиями ГОСТа, то нумеровать их следует по направлению движения часовой стрелки вначале на каждой из проекций в отдельности, а затем в определенной последовательности на имеющихся разрезах, сечениях и выносных элементах.

Карта технологического процесса является технологическим документом, который содержит описание технологического процесса изготовления изделия (включая контроль и перемещения) по всем операциям одного вида работ, выполняемым в одном цехе в технологической последовательности с указанием данных о средствах технологического оснащения, материальных, трудовых нормативах и технологических режимах. ГОСТ предусматривает возможность разработки карты технологического процесса с включением в нее других видов работ, выполняемых в разных цехах (термообработка, обезжиривание и т. п.), но такое допущение возможно только для отдельных видов работ, например, механическая обработка резанием, холодная штамповка и т. д. Если технологический процесс полностью охватывает весь путь изготовления данного изделия, то в этом случае карта технологического процесса полностью заменяет маршрутную карту и последняя не разрабатывается.

3.9. Определение и расчет припусков на обработку

В машиностроении при обработке материала различают два вида припусков: общий припуск на обработку и операционный припуск (промежуточный). *Общим припуском* на обработку называется слой

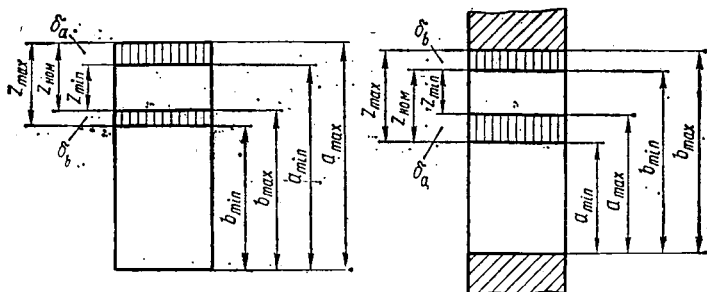


Рис. 38. Схемы расположения припусков при обработке наружных и внутренних поверхностей

материала, который должен быть удален в результате выполнения всех предусмотренных технологическим процессом операций механической обработки для получения размера и шероховатости данной поверхности, заданных чертежом и техническими условиями.

Общий припуск равен сумме операционных (промежуточных) припусков

$$z_0 = \sum_{i=1}^n z_i, \quad (72)$$

где z_i — операционные припуски.

Операционным припуском называется слой материала, удаляемый при выполнении данной операции (перехода). В величину припуска, снимаемого при первых черновых операциях, входит также дефектный слой, величина которого зависит от размеров заготовки, метода ее получения и ряда технологических факторов. Дефектный слой включает в себя выпуклости, вмятины, обезуглероженный слой при нагреве и термообработке.

Величина задаваемого общего припуска главным образом зависит от метода изготовления заготовки детали при выбранном технологическом процессе, толщины дефектного слоя и состояния оборудования, на котором изготавливают заготовки. Припуски на обработку измеряются по нормали к обработанной поверхности и задаются обычно в миллиметрах на сторону. Способ задания припуска (на сторону или диаметр) обязательно оговаривается в технологии.

При обработке любой детали операционные размеры, как правило, не могут быть выдержаны абсолютно точно, поэтому фактическая величина припуска колеблется в некоторых пределах. В связи с этим различают минимальный, номинальный (расчетный) и максимальный припуски. Так как любая деталь обрабатывается по наружной и внутренней поверхностям, то минимальный припуск при многопроходной обработке, выполняемой по методу последовательного приближения к заданному размеру (рис. 38), рассчитывается следующим образом:

$$z_{\min} = a_{\min} - b_{\max}, \quad (73)$$

где $a_{\min}$ — минимальный размер, полученный на предыдущем переходе (операции); $b_{\max}$ — максимальный размер, заданный на выполняемом переходе (операции);

при обработке внутренних поверхностей

$$z_{\min} = b_{\min} - a_{\max}, \quad (74)$$

где $b_{\min}$ — минимальный размер, заданный на выполняемом переходе (операции); $a_{\max}$ — максимальный размер, полученный на предыдущем переходе (операции).

Номинальный операционный припуск определяется как сумма минимального припуска $z_{\min}$ и допуска δ_a , заданного для предыдущей операции (перехода):

$$z_n = z_{\min} + \delta_a. \quad (75)$$

Максимальный операционный припуск определяется как сумма номинального припуска z_n и допуска δ_b , заданного для выполнения данной операции:

$$z_{\max} = z_n + \delta_b. \quad (76)$$

Допуск на операционный припуск равен разности между максимальным и минимальным операционным припуском

$$\delta_z = z_{\max} - z_{\min} = (z_n + \delta_b) - (z_n - \delta_a) = \delta_a + \delta_b, \quad (77)$$

где $\delta_a = a_{\max} - a_{\min}$; $\delta_b = b_{\max} - b_{\min}$.

Режимы резания рассчитываются и выбираются по максимальному припуску. Во всех технологических расчетах рассматриваются номинальные припуски. Правильный расчет и выбор припусков и операционных допусков при механической обработке детали являются основой при составлении технологического процесса, так как от этого зависит ее себестоимость, качество, долговечность и надежность.

Влияние величины припуска на экономичность процесса обработки велико. Чем больше припуск, тем больше проходов требуется для снятия соответствующего слоя металла, что приводит к трудоемкости процесса, лишнему расходу электроэнергии, режущего инструмента, увеличивает отходы металла; появляется необходимость в увеличении парка оборудования и производственных площадей.

Уменьшенные припуски не обеспечивают возможности удаления дефектных поверхностных слоев металла, получения требуемой точности и шероховатости, т. е. приводят к браку.

3.10. Методы определения припусков

В машиностроении установление припусков на обработку можно производить опытно-статистическим и расчетно-аналитическим методами.

При установлении припусков опытно-статистическим методом как общие, так и промежуточные их величины берутся по таблицам, составленным на основе обобщения и систематизации производственных данных ряда передовых заводов. Основным преимуществом этого метода является экономия времени на установление припусков. Недостаток этого метода заключается в том, что припуски назначают

ся без учета конкретных условий разработки технологических процессов (условий получения заготовки, состояния оборудования, принятой схемы установки, уровня автоматизации, способа закрепления заготовки на смежном, предшествующем и выполняемом переходе и др.).

При обработке данных нескольких заводов для составления таблиц расчетно-статистические величины припусков выбираются максимальными, что не всегда отвечает фактическим условиям обработки на данном предприятии.

Работа технолога в этом случае заключается не в анализе условий выполнения операций обработки и изыскании путей уменьшения величины припусков, а в механическом перенесении их из таблиц.

Расчетно-аналитический метод определения припусков учитывает конкретные условия выполнения технологического процесса обработки. В основу расчета величины снимаемого промежуточного припуска положено условие устранения погрешности обработки и дефектов поверхностного слоя, полученных на предшествующих технологических переходах, а также погрешности установки на выполняемом переходе.

Чтобы правильно установить величину минимального промежуточного припуска и учесть влияние определяющих ее факторов, введем следующие обозначения: $R_{z_{i-1}}$ — высота неровностей поверхности, оставшихся при выполнении предшествующего перехода; T_{i-1} — глубина дефектного поверхностного слоя, оставшегося при выполнении предшествующего перехода; ρ_{i-1} — пространственное отклонение, возникшее на предшествующем переходе; ϵ_{y_i} — предполагаемые погрешности базирования и закрепления на выполняемом переходе.

Так как отсчет минимальных припусков при обработке наружных поверхностей производится от наименьшего предельного размера заготовки, а при обработке внутренних поверхностей — от наибольшего предельного размера, то погрешность формы и отклонение размера обрабатываемой поверхности величиной минимального промежуточного припуска не учитываются. Если такие погрешности формы имеют место, то они учитываются в допуске на соответствующий размер заготовки, а отклонение размеров влияет на величину действительного припуска по сравнению с расчетным.

Пространственные отклонения, а также погрешности закрепления и базирования представляют собой векторы, так как они имеют не только величину, но и направление. Поэтому их суммирование выполняется по правилу сложения векторов.

При обработке плоских поверхностей учитывают наибольшее из пространственных отклонений взаимосвязанных поверхностей по нормали к обрабатываемой поверхности и суммарное значение определяется как векторная сумма пространственных отклонений.

Для совпадающего направления векторов $\bar{\rho}_1$ и $\bar{\rho}_2$ (угол между ними равен 0)

$$\bar{\rho}_i = \bar{\rho}_1 + \bar{\rho}_2.$$

В случае противоположного направления векторов (угол между ними 180°)

$$\bar{\rho}_i = \bar{\rho}_1 - \bar{\rho}_2.$$

При обработке поверхностей вращения учитывают суммарное значение отклонений взаимосвязанных поверхностей, векторы которых могут иметь любое направление. В тех случаях, когда нельзя установить вероятное их направление, следует пользоваться формулой

$$\rho_i = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}. \quad (78)$$

Величину ϵ_y определяют как векторную сумму погрешностей базирования и погрешностей закрепления по аналогичному методу; при совпадающем направлении векторов $\bar{\epsilon}_y = \bar{\epsilon}_6 + \bar{\epsilon}_3$, а при противоположном $\epsilon_y = \epsilon_6 - \epsilon_3$.

В случаях, когда направление векторов установить затруднительно, их суммируют по правилу квадратного корня:

$$\epsilon_y = \sqrt{\epsilon_6^2 + \epsilon_3^2}. \quad (79)$$

Таким образом, расчетные структурные формулы для определения минимального промежуточного припуска можно выразить:

а) при последовательной обработке противолежащих или отдельно расположенных поверхностей

$$z_{b \min} = (R_{z_{i-1}} + T_{i-1}) + \rho_{i-1} + \epsilon_{y_i}; \quad (80)$$

б) при параллельной обработке противолежащих плоскостей (припуск на две стороны)

$$2z_{b \min} = 2[(R_{z_{i-1}} + T_{i-1}) + (\rho_{i-1} + \epsilon_{y_i})]; \quad (81)$$

в) при обработке наружных или внутренних поверхностей вращения

$$2z_{b \min} = 2[(R_{z_{i-1}} + T_{i-1}) + \sqrt{\rho_i^2 + \epsilon_{y_i}^2}]; \quad (82)$$

г) при обтачивании цилиндрической поверхности, установленной в центрах заготовки (погрешность закрепления и базирования можно принять равной нулю)

$$2z_{b \min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1}); \quad (83)$$

д) при шлифовании заготовок после термической обработки, когда поверхностный слой по возможности должен быть сохранен, T_{i-1} исключается из формул

$$z_{b \min} = R_{z_{i-1}} + \rho_{i-1} + \epsilon_{y_i} \quad (84)$$

и

$$2z_{b \min} = 2(R_{z_{i-1}} + \sqrt{\rho_i^2 + \epsilon_{y_i}^2}) \quad (85)$$

(при обработке поверхностей вращения).

Пространственные отклонения, полученные в результате коробления заготовки после термической обработки, учитываются величиной ρ_i . Если нет погрешностей базирования и закрепления, то

$$\begin{aligned} & z_{b \min} = R_{z_{i-1}} + \rho_{i-1} \\ \text{или} \quad & 2z_{b \min} = 2(R_{z_{i-1}} + \rho_{i-1}). \end{aligned} \quad (86)$$

При отделочном шлифовании (суперфиниш) или полировании, когда достигается лишь понижение шероховатости поверхности: для деталей вращения

$$2z_{b \min} = 2R_{z_{i-1}}; \quad (87)$$

для плоских деталей

$$z_{b \min} = R_{z_{i-1}}. \quad (88)$$

Если у партии заготовок обрабатываются внешние поверхности на предварительно настроенных станках, т. е. установленным на размер инструментом, то при наибольшем предельном размере заготовки, полученном на предшествующем переходе, будем иметь в силу закона копирования наибольший предельный размер при выполняемом переходе, а при наименьшем — наименьший. Причиной этому являются увеличенная глубина резания, следовательно, наибольшая сила резания и наибольшие отжатия системы СПИД. В этих условиях полученное ранее значение минимального промежуточного припуска для наружных поверхностей определится как разность

$$z_{b \min} = a_{\min} - b_{\min}, \quad (89)$$

а для внутренних поверхностей

$$z_{b \min} = b_{\max} - a_{\max}. \quad (90)$$

Номинальный и максимальный припуски соответственно будут:

$$z_{b \text{ ном}} = a_{\text{ном}} - b_{\text{ном}}; \quad (91)$$

$$z_{b \text{ max}} = a_{\text{max}} - b_{\text{max}}. \quad (92)$$

На основании расчета величин промежуточных (или операционных) припусков определяются предельные размеры заготовки по всем технологическим переходам от готовой детали до исходной заготовки.

Глава 4

ВИДЫ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

4.1. Назначение, классификация и основные требования, предъявляемые к приспособлениям

Приспособлениями называются вспомогательные устройства, используемые для выполнения технологических операций механической обработки, сборки и контроля. По назначению приспособления можно разделить на следующие виды:

1. Станочные приспособления, применяемые для установки и закрепления заготовок на станках.

В общем объеме парка существующих в машиностроении приспособлений станочные составляют до 80—90%.

Применение станочных приспособлений обеспечивает: а) повышение производительности труда за счет устранения разметки и сокращения времени на установку и закрепление заготовок, частичного или полного перекрытия вспомогательного времени машинным временем и уменьшение последнего посредством многоместной обработки, совмещения технологических переходов и повышения режимов резания; б) повышение точности обработки благодаря устранению выверки при установке и связанных с ней погрешностей; в) расширение технологических возможностей оборудования; г) облегчение условий труда станочников и повышение техники безопасности; д) снижение себестоимости продукции.

2. Приспособления для закрепления рабочего инструмента, с помощью которых осуществляется связь между инструментом и станком.

3. Сборочные приспособления для соединения сопрягаемых деталей в узлы и изделия. Их применяют для крепления базовых деталей и узлов собираемого изделия, для обеспечения правильной установки соединяемых элементов изделия, а также для предварительной сборки упругих элементов (пружин, разрезных колец) и т. д. и выполнения соединений с натягом.

4. Контрольные приспособления, применяемые для промежуточного и окончательного контроля деталей в процессе механической обработки, а также для контроля собранных узлов машины.

5. Приспособления для захвата, перемещения и перевертывания обрабатываемых заготовок деталей и узлов, которые используются при обработке и сборке тяжелых деталей и изделий.

По технологическому признаку станочные приспособления можно классифицировать в соответствии с типами станков (для установки заготовок на токарных, фрезерных и др. станках).

По степени специализации приспособления подразделяются на три основные группы: универсальные, используемые при обработке разнообразных заготовок (патроны, делительные головки, поворотные столы, машинные и ручные тиски и т. д.); специализированные, предназначенные для обработки определенных заготовок. В конструкции таких приспособлений предусматриваются дополнительные или сменные устройства, например, сменные губки для тисков, фасонные кулачки для патронов и другие, которые используются в нужный момент для обработки заготовок; специальные, предназначенные для выполнения с их помощью определенных операций механической обработки данной детали.

Универсальные приспособления (УП) позволяют с незначительной их переналадкой производить обработку ряда аналогичных по форме деталей ограниченных размеров в условиях мелкосерийного и единичного производства. Используются УП обычно для расширения технологических возможностей станков. К универсальным приспособ-

соблениям можно отнести универсальные, поворотные, делительные столы, головки, универсальные приводы и т. п.

Универсальные приспособления условно можно разделить на безналадочные (УБП), используемые для закрепления заготовок широкой номенклатуры (универсальные слесарные и фрезерные тиски, универсальные патроны и т. п.) и универсальные наладочные (УНП), используемые для закрепления заготовок различных геометрических форм (универсальные тиски со сменными губками и патроны со сменными кулачками, скальчатые кондукторы и т. п.).

Специализированные приспособления также можно разделить на специализированные безналадочные (СБП), используемые для закрепления близких по конструктивно-технологическим признакам заготовок и требующие одинаковой обработки (приспособления для групповой обработки типовых деталей), и специализированные наладочные приспособления (СНП), технологические возможности которых шире по сравнению с СБП.

Универсально-сборные приспособления (УСП), используемые для закрепления заготовок широкой номенклатуры при выполнении различных операций, представляют собой определенную компоновку специального приспособления для каждой операции из заранее изготовленных стандартных деталей. После применения УСП разбирают, очищают, смазывают отдельные детали и многократно используют их в последующих компоновках.

Специальные приспособления (СП) являются одноцелевыми, т. е. они конструируются для выполнения отдельной операции при обработке конкретной детали.

Специальные и специализированные приспособления используются обычно в крупносерийных и массовых производствах, где наряду с высокой точностью требуется также и высокая производительность. Исходя из этого универсальные приспособления конструктивно выглядят проще, а специальные и специализированные представляют собой сложные устройства с быстродействующими, бесшумными приводами, а иногда и с элементами автоматики. В любом приспособлении можно выделить детали и сборочные единицы, имеющие одинаковое назначение, которые принято называть элементами приспособлений.

Основными элементами приспособлений являются: установочные элементы — для установки и определения положения обрабатываемой поверхности заготовки относительно режущего инструмента; зажимные — для прочного и надежного закрепления заготовки в определенном положении; направляющие — для обеспечения требуемого направления движению режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности; ориентирующие — для правильной установки приспособления относительно станка и инструмента; делительные или поворотные — для точного фиксируемого изменения положения обрабатываемой поверхности заготовки относительно режущего инструмента; корпусные — для сборки всех частей приспособления в единую конструкцию; крепежные — для соединения отдельных частей приспособления между собой; силовые приводы.

4.2. Типовые схемы установки заготовок в приспособлениях и особенности конструкции установочных элементов

В качестве установочных элементов приспособлений используют чаще опорные штыри и пластинки, поэтому их принято называть опорами. Опоры подразделяются на основные и вспомогательные [31].

Основными опорами называют элементы, которые при установке заготовки лишают ее всех или нескольких степеней свободы и определяют положение ее в пространстве.

Вспомогательными опорами называют детали или сборочные единицы, назначением которых является придание заготовке дополнительной жесткости или устойчивости в процессе обработки.

Любая вспомогательная опора не должна нарушать положение заготовки, достигнутое установкой на основные опоры, поэтому она (в отличие от основной опоры) должна быть подвижной и надежно фиксирующейся только после установки заготовки на основные опоры.

По конструкциям опорные штыри подразделяют на постоянные (рис. 39) и регулируемые (рис. 40), размеры которых определены специальными стандартами.

Опорные штыри устанавливают в корпусе приспособлений в специальные отверстия. Сопряжение штырей с отверстиями выполняется по посадке $\frac{H7}{h6} \left(\frac{A}{C} \right)$ или $\frac{H7}{p6} \left(\frac{A}{Пл} \right)$. Опорные площадки под головки штырей должны слегка выступать, а их обработка — осуществляться с одного перехода. В тех приспособлениях, где возникает необходимость в частой смене опорных штырей, последние устанавливают в переходные втулки по посадкам $\frac{H7}{js6} \left(\frac{A}{П} \right)$ или $\frac{H7}{h6} \left(\frac{A}{C} \right)$, а сама втулка — в корпус приспособления по посадкам $\frac{H7}{h6} \left(\frac{A}{C} \right)$ или $\frac{H7}{p6} \left(\frac{A}{Пл} \right)$.

Для обеспечения взаимозаменяемости головку опорных штырей необходимо выполнять высотой H с отклонениями посадок $h6 (C)$ или $h5 (C)$.

Конструкции опорных пластинок регламентируются ГОСТ и бывают плоские и с косыми пазами (рис. 41).

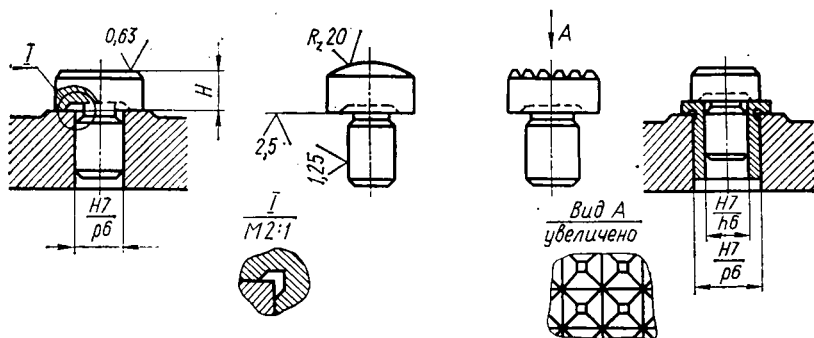


Рис. 39. Стандартные постоянные опоры (штыри)

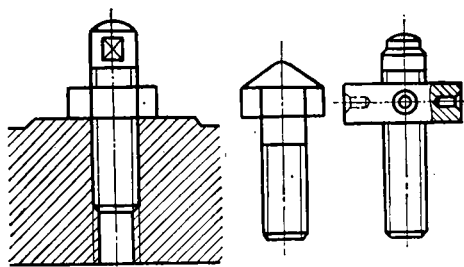


Рис. 40. Стандартные регулируемые опоры (штыри)

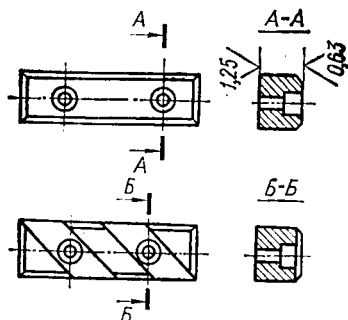


Рис. 41. Опорные пластинки

При конструировании приспособлений плоские пластинки рекомендуется закреплять на выступающих площадках вертикальных стенок корпуса. На выбор типа и размеров опор и пластинок влияют размеры и состояние базовых поверхностей заготовок. Обычно детали с обработанными базовыми плоскостями больших размеров устанавливают на пластинки, а меньших — на штыри с плоской головкой. Детали с необработанными базовыми плоскостями рекомендуется устанавливать на штыри со сферической или насеченной головкой.

Вспомогательные опоры приспособлений могут быть самоустанавливающиеся и подводимые. Первые используются при установке нетяжелых заготовок, а вторые позволяют устанавливать и тяжелые заготовки, создающие большие силы, действующие вдоль оси штыря.

Установочные пальцы используют для установки заготовок по внутренним цилиндрическим отверстиям. Их конструкции стандартизованы. По способу крепления они подразделяются на постоянные (рис. 42) и сменные (рис. 43). В конструкциях, представленных на рис. 42, а, 43, а, опорой служит буртик пальца, опорная поверхность которого для удобства очистки от стружки выполняется прерывистой.

Пальцы диаметром до 16 мм изготовляют из стали У8А, а свыше 16 мм — из стали 20Х с цементацией на глубину 0,8—1,2 мм и последующей закалкой до твердости HRC 50—55. Диаметр рабочей поверх-

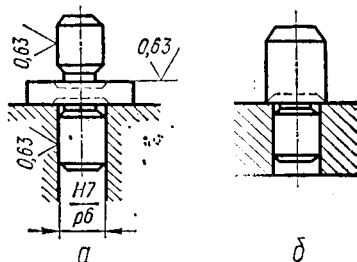


Рис. 42. Установочные пальцы постоянные

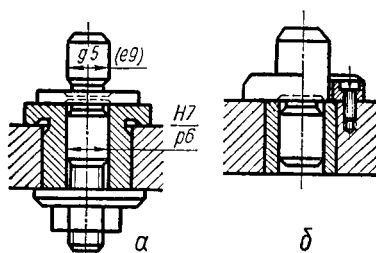


Рис. 43. Установочные пальцы сменные

ности пальца выполняют с отклонениями по посадкам $g5 (D_1)$, $g6 (D)$, $f6 (X_1)$, $f7 (X)$, $e9 (X_3)$.

Для деталей, имеющих внутреннюю цилиндрическую поверхность, при соотношении $\frac{l}{d} \geq 1$ в качестве установочных элементов широко используются оправки.

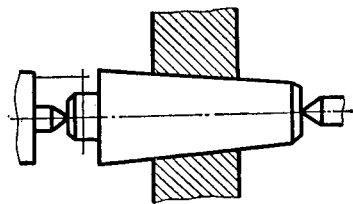


Рис. 44. Оправка конусная

По конструкции центрирующих элементов оправки можно разделить на жесткие и разжимные, по способу установки на станке — на два вида: центровые, устанавливаемые в центрах, и консольные, закрепляемые в конусе шпинделя, на шпинделе или в патроне. Как правило, консольные оправки применяют для обработки деталей небольшой длины.

Жесткие оправки применяют трех основных типов: конусные, цилиндрические и шлицевые. Конусные оправки применяют для установки деталей с цилиндрическим отверстием. Путем напрессовки последних за счет сил трения между конусной частью оправки и деталью передается крутящий момент (рис. 44).

Конусность принимается

$$K = \frac{D-d}{L} = \frac{1}{1000} \div \frac{1}{3000}. \quad (93)$$

В целях обеспечения передачи соответствующего крутящего момента обычно принимают D больше на 0,01—0,02 мм наибольшего предельного размера отверстия, а d — на 0,01—0,03 мм меньше наименьшего предельного значения отверстия.

Конусные оправки просты в изготовлении и эксплуатации, однако передаваемый ими крутящий момент незначителен, что является их существенным недостатком. Другой недостаток — возможность перекоса.

Цилиндрические оправки применяют для установки обрабатываемых деталей с зазором или натягом (рис. 45). Цилиндрические оправки просты в изготовлении, позволяют передавать большой крутящий момент и одновременно обрабатывать несколько деталей.

К недостаткам цилиндрических оправок следует отнести неточность базирования за счет наличия зазора в сопряжении и невозмож-

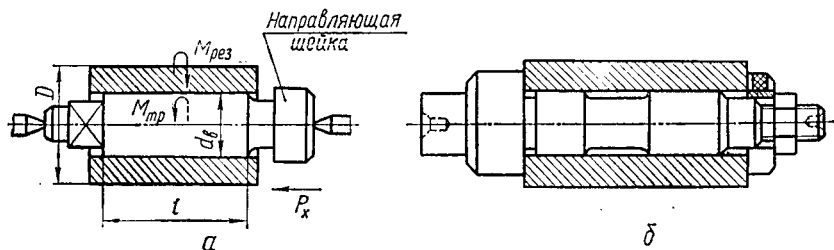


Рис. 45. Оправки цилиндрические

ность обработать торцы. Оправки с натягом этого недостатка лишены, но затрата времени на установку и снятие детали с оправки больше.

Основной задачей при конструировании оправки с натягом является определение диаметра ее рабочей части d_b . При обработке заготовки возникают моменты от действия сил резания $M_{рез}$ и осевая сила P_x , стремящиеся повернуть и сдвинуть заготовку на оправке (рис. 45, а).

Перемещение или проворот заготовки на оправке могут быть исключены, если обеспечить условия:

$$P_{тр} = kP_x \quad \text{и} \quad M_{тр} = kM_{рез} = kP_z \frac{D}{2}, \quad (94)$$

где $P_{тр}$ — сила трения на поверхности контакта отверстие-оправка; $M_{тр}$ — момент трения; k — коэффициент запаса; D — диаметр обрабатываемой заготовки.

В результате насаживания заготовки на оправку с натягом на рабочей поверхности последней создается определенное равномерно распределенное удельное давление p . С учетом этого

$$P_{тр} = \int p' \pi dl \quad \text{и} \quad M_{тр} = \int p'' \frac{\pi d^2 l}{2}, \quad (95)$$

где f — коэффициент трения между заготовкой и оправкой; d — номинальный диаметр отверстия заготовки; l — длина рабочей части оправки; p' и p'' — удельные давления.

Из выражений (94) и (95) определяем

$$p' = \frac{kP_x}{f\pi dl} \quad \text{и} \quad p'' = \frac{kP_z D}{f\pi d^2 l}. \quad (96)$$

При одновременном действии P_x и $M_{рез}$

$$p = \frac{k}{f\pi dl} \sqrt{\frac{P_z^2 D^2}{d^2} + P_x^2}. \quad (97)$$

Величина удельного давления определяется натягом. На основании теории толстостенных сосудов можно написать, что полный натяг, зависящий от радиальных перемещений вала и отверстий (оправки и заготовки) C_a и C_b

$$i = pd \left(\frac{C_a}{E_a} + \frac{C_b}{E_b} \right), \quad (98)$$

где d — внутренний диаметр заготовки; E_a и E_b — модули упругости материала детали и оправки;

$$C_a = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_a; \quad C_b = \frac{d_b^2 + d_0^2}{d_b^2 - d_0^2} - \mu_b, \quad (99)$$

где D — наружный диаметр заготовки; d_b , d_0 — наружный и внутренний диаметры оправки; μ_a , μ_b — коэффициенты Пуассона для материала детали и оправки (для чугуна $\mu = 0,25$, для стали $\mu = 0,3$).

Подставляя в формулу (98) формулу (97), получим выражение для расчета минимально необходимого натяга:

$$i_{\min} = \frac{k}{f\pi l} \sqrt{P_z^2 \frac{D^2}{d^2} + P_x^2 \left(\frac{C_a}{E_a} + \frac{C_b}{E_b} \right)}.$$

Определить исполнительный диаметр оправки можно из схемы расположения полей допусков соединения оправка-заготовка (рис. 46)

$$d_b = (d + \delta_0 + i_{\min} + \delta_{\text{изг}} + \delta_{\text{изн}}), \quad (100)$$

где d и δ_0 — диаметр и допуск базового отверстия заготовки; $i_{\min}$ — величина минимально необходимого натяга; $\delta_{\text{изг}}$ — допуск на изготовление оправки, обычно равный 0,01...0,02 мм; $\delta_{\text{изн}}$ — допуск на износ оправки, допускаемый до 0,02...0,03 мм.

Шлицевые оправки и оправки со шпоночным пазом применяют в том случае, если есть соответствующие пазы на заготовке детали. Оправки изготавливают из термически обрабатываемых сталей, калят и шлифуют до шероховатости рабочей поверхности $R_a = 0,63$ мкм (не больше). В центровых отверстиях оправок рекомендуется предусматривать защитные фаски, чтобы предохранить их от случайных повреждений.

Конструкции разжимных оправок могут быть самые различные, однако общим для всех является присутствие тонкостенного стального, не обладающего остаточной деформацией элемента, подвергающегося разжатию от действия разжимающих усилий клина, обратных конусных поверхностей, специальных пластических масс, резины, жидкости и воздуха.

4.3. Установка заготовки непосредственно на плоскость или на три опоры

Геометрическая плоскость вполне определяется тремя точками, что дает основание в приспособлениях в качестве этих точек использовать опоры, установленные в главной плоскости приспособления. Расположение трех опор в главной плоскости будет зависеть от того, на какую базу будет устанавливаться заготовка — черновую или чистовую.

В том случае, когда в качестве технологической базы используется черновая поверхность заготовки, в приспособлении предусматриваются три неподвижные опоры, расположенные так, чтобы образуемый ими треугольник был возможно большим. Это обеспечивает определенные преимущества: устойчивость заготовки при обработке; меньше возможность падения стружки под опоры; упрощается обработка самих опор и замена их при износе. Однако самым важным при такой установке следует считать наибольшую вероятность того, что равнодействующая сил резания, зажимных усилий и центр тяжести детали будут

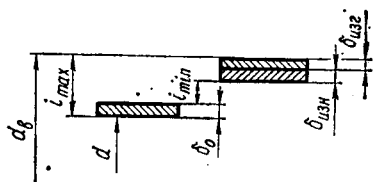
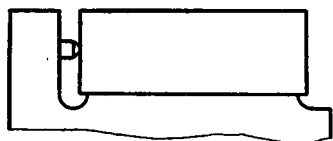
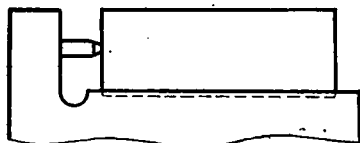


Рис. 46. Расположение полей допусков соединения оправка-заготовка



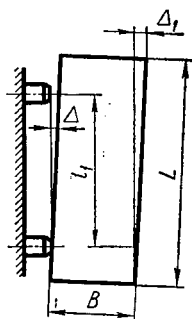
a



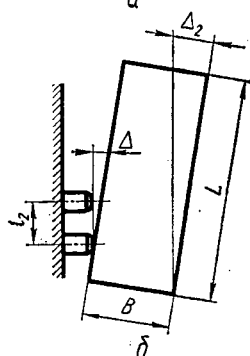
б

Рис. 47. Схема установки детали на главную плоскость приспособления:

a — правильно; *б* — неправильно



a



б

Рис. 48. Схема установки заготовки детали по взаимно перпендикулярным плоскостям:

a — рационально; *б* — нерационально

находиться внутри опорного треугольника, образуемого неподвижными опорами.

Непосредственно на плоскость можно устанавливать только небольшие по размерам и нежесткие детали, у которых погрешность установки незначительна. При этом необходимо, чтобы главная плоскость приспособления была меньше размеров главной базы заготовки, так как в противном случае возможен перекося ее из-за наличия заусенцев от предыдущей обработки и неравномерного износа главной плоскости приспособления (рис. 47). Заусенцы на краях обработанной плоскости чаще всего бывают потому, что их углы труднее обработать, например, при ковке или штамповке (недоштамповка), а также как результат захода и выхода лезвийного инструмента. Главная плоскость приспособления через n -е количество установок изнашивается и, как правило, неравномерно. В направляющей плоскости приспособления устанавливают две неподвижные опоры. При значительных колебаниях размеров заготовок в опорной плоскости устанавливают регулируемые опоры или опору.

В случае установки заготовки по взаимно перпендикулярным плоскостям необходимо, чтобы в главной плоскости приспособления заготовка устанавливалась на 3 опоры, соблюдая при этом указанные выше условия, а в направляющей плоскости устанавливают две опоры или пластинки. Пластинки используют реже, чем опоры, так как возможны неперпендикулярность и непрямолинейность сторон заготовки детали. При этом необходимо помнить, что с увеличением расстояния между

опорами в направляющей плоскости уменьшается погрешность установки (рис. 48). Это легко рассмотреть на примере установки детали длиной L на направляющей плоскости с расстоянием между опорами l_1 и l_2 . При одинаковой высоте микронеровности Δ , имеющейся на поверхности детали, погрешность в размере B составит:

$$\Delta_1 = \frac{\Delta L}{l_1} \quad \text{и} \quad \Delta_2 = \frac{\Delta l}{l_2}$$

или

$$\frac{\Delta_1}{\Delta_2} = \frac{l_2}{l_1}. \quad (101)$$

4.4. Установка заготовок по цилиндрической поверхности и перпендикулярной к ее оси плоскости

В зависимости от соотношения длины заготовки l и ее диаметра d можно применять одну из двух существующих схем: схему базирования цилиндрической заготовки с соотношением $\frac{l}{d} \geq 1$ (рис. 49); схему базирования с соотношением $\frac{l}{d} < 1$ (рис. 50). Различие между ними состоит в распределении опорных точек между цилиндром и плоскостью.

В первом случае базовая цилиндрическая поверхность несет четыре опорные точки, из которых две лежат на образующей 1—2 и две — на образующей 3—4. Торцевая несет опорную точку 5. Шестая опорная точка задана на поверхности шпоночного паза. Во втором случае за установочную базу принимают торцевую заготовку, несущий три опорные точки 1, 2, 3. Цилиндрическая поверхность несет две опорные точки 4, 5, а шестая опорная точка, так же как и в первом случае, задана на поверхности шпоночного паза.

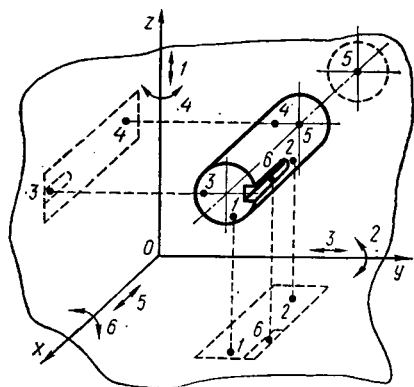


Рис. 49. Схема базирования цилиндрической заготовки с соотношением $\frac{l}{d} \geq 1$

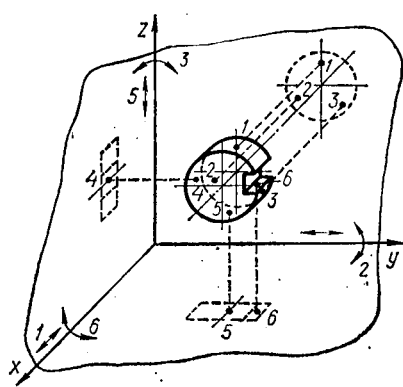


Рис. 50. Схема базирования цилиндрической заготовки с соотношением $\frac{l}{d} < 1$

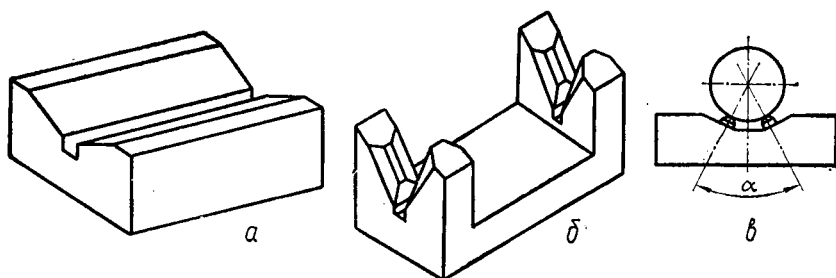


Рис. 51. Установка заготовки детали на опорные призмы:
 а — широкая призма; б — узкая призма; в — призма с четырьмя опорами

Вторая схема используется для базирования цилиндрических коротких заготовок, обеспечивая их устойчивое положение. Такая схема базирования применяется, если в качестве установочного элемента в приспособлении использована опорная призма. Оси, валики и втулки при сверлении и фрезеровании обычно устанавливаются своими наружными цилиндрическими поверхностями на опорные призмы. При этом, если заготовку с соотношением $\frac{l}{d} \geq 1$ прижать к призме, то устраняются четыре степени свободы ее перемещения, а именно вдоль и вокруг двух координатных осей. Угол призмы α , как правило, равен 90° , но может быть и другой величины. В общем случае α выбирается в пределах $60 \dots 120^\circ$.

В зависимости от величины неровностей наружных цилиндрических поверхностей применяют так называемые широкие (рис. 51, а) и узкие (с выемкой) призмы (рис. 51, б). Вместо узкой призмы используют призму с четырьмя опорами, расположенными под углом, равным углу призмы (рис. 51, в). Широкие призмы используют для обработанных цилиндрических наружных поверхностей, а узкие — для необработанных. Призмы небольших размеров обычно изготавливают из стали марки 45 или других сталей (но цементируемых) с последующей закалкой боковых

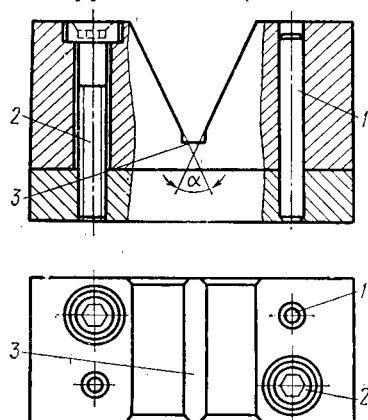


Рис. 52. Конструкция призмы на контрольных штифтах

поверхностей до твердости *HRC* 50—60. Призмы больших размеров изготавливают из серого чугуна с привернутыми к ним закаленными щеками.

В корпусе приспособления призмы обычно устанавливают на контрольных штифтах 1 (рис. 52) и закрепляют винтами 2. Контрольные штифты запрессовывают в корпус приспособления по посадке *p6* или *h6*. Установка призмы на контрольных штифтах исключает смещение призмы в процессе эксплуатации приспособления, т. е. исключается неточность установки детали. В конструкции призм обязательно предусматривается паз 3, позволяющий быстро удалить стружку.

4.5. Установка заготовок по двум цилиндрическим поверхностям

При обработке деталей типа тройников, угольников, рычагов, шатунов, ступенчатых валиков и т. п. их установку производят по двум цилиндрическим поверхностям. При этом следует помнить, что часть перечисленных деталей имеют цилиндрические поверхности, оси которых пересекаются (угольники, тройники), а другие имеют цилиндрические поверхности с параллельными осями (шатуны, торы и др.). Эти конструктивные отличия, а также состояние цилиндрических поверхностей накладывают определенные условия и на их установку.

В первом случае, т. е. при установке деталей, у которых оси цилиндрических поверхностей пересекаются и одна из базовых поверхностей обработана, а другая нет, деталь 1 следует обработанной поверхностью установить на призму, а необработанной — прижать к неподвижной опоре 2 (рис. 53). С целью уменьшения погрешности обработки необходимо опору 2 располагать как можно дальше от оси симметрии призмы.

Во втором случае, т. е. у заготовок деталей с цилиндрическими поверхностями и параллельными осями, неизбежны смещения осей цилиндров, поэтому целесообразно устанавливать деталь 1 одним цилиндром на призму, а другим — на регулируемую опору 2 (рис. 54). Для таких же деталей как с обработанными, так и с необработанными поверхностями, очень часто используется базирование с применением одной подводимой призмы (рис. 55). Центрирование заготовки 1 в данном случае производится с помощью двух призм 2, 3, а зажатие — с помощью подводимой призмы 3.

Ступенчатые валы устанавливают по нескольким ступеням независимо от состояния поверхностей следующим образом (рис. 56). При установке заготовки детали цилиндрической формы ее ось располагается в плоскости симметрии призмы. В партии обрабатываемых заготовок диаметры последних будут иметь различные отклонения от номинала, а следовательно, и положение центра окружности каждой заготовки будет изменяться. В результате этого возникают погрешности установки Δh (рис. 57). Для определения величины погрешности Δh рассмотрим схему установки поочередно двух заго-

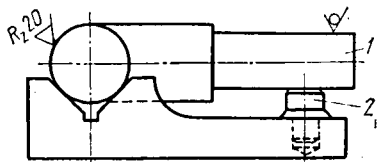


Рис. 53. Установка заготовки детали с пересекающимися осями цилиндрических поверхностей

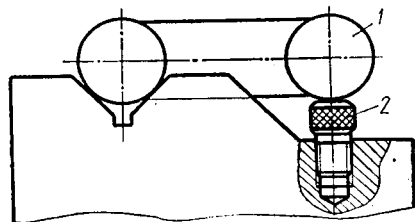


Рис. 54. Установка заготовки детали с параллельными осями цилиндрических поверхностей

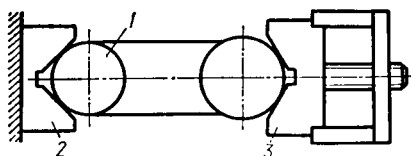


Рис. 55. Базирование детали с применением подводимой призмы

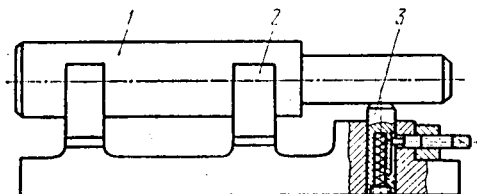


Рис. 56. Установка ступенчатых валов:
1 — заготовка; 2 — призма; 3 — подводимая опора с фиксатором

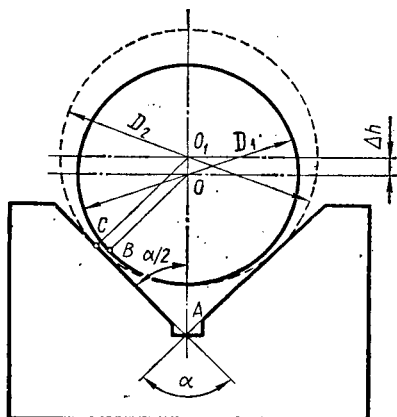


Рис. 57. Схема для расчета погрешности базирования вала при установке в призму

товок, имеющих наименьший и наибольший предельные размеры D_1 и D_2 . Из рисунка видно, что $OB = \frac{D_1}{2}$; $O_1C = \frac{D_2}{2}$.

Из треугольников (здесь OB и OC перпендикулярны)

$$OA = \frac{OB}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{D_1}{2 \sin \frac{\alpha}{2}};$$

$$O_1A = \frac{O_1C}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{D_2}{2 \sin \frac{\alpha}{2}};$$

$$\Delta h = O_1A - OA = \frac{D_2 - D_1}{2 \sin \frac{\alpha}{2}};$$

$$\Delta h = \frac{\delta}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (102)$$

где δ — допуск на диаметр вала (для изготовленной детали берется фактическое отклонение размера от номинала). Из формулы (102) видно, что с увеличением угла призмы α уменьшаются погрешности установки, но одновременно уменьшается устойчивость заготовки (при $\alpha = 60^\circ$, $\Delta h = \delta$, а при $\alpha = 90^\circ$, $\Delta h = 0,7\delta$).

4.6. Установка заготовок по обработанным цилиндрическим отверстиям

Если деталь имеет цилиндрическое отверстие, которое используется в качестве установочной базы, то заготовка ее устанавливается на цилиндрический стержень пальца 3 и упирается в торец бурта 1

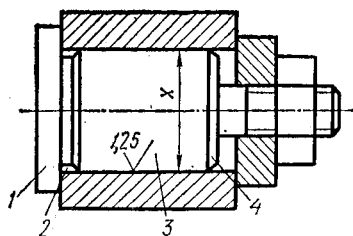


Рис. 58. Установка заготовки детали по цилиндрическому отверстию

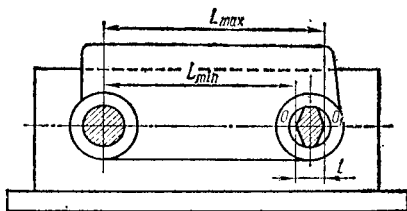


Рис. 59. Установка детали по двум обработанным цилиндрическим отверстиям

рис. 58). Фаска 4 под углом 30° облегчает установку. Галтель 2 повышает точность установки. В стационарных приспособлениях такая установка производится на постоянные или сменные консольные пальцы.

Погрешности обработки при установке заготовки на палец определяются величиной зазора между пальцем и отверстием и неперпендикулярностью торца к оси отверстия. В первом случае происходит смещение заготовки в радиальном направлении на величину, равную половине действительного зазора между отверстием и пальцем, во втором случае возможен перекос отверстия по отношению к оси пальца.

Установка по двум обработанным цилиндрическим отверстиям применяется при обработке заготовок плит, рам, станин, корпусных и других деталей, имеющих два обработанных по 7 квалитету отверстия с параллельными осями и перпендикулярную им плоскость. Такая установка предопределяет простую конструкцию приспособления, обеспечивает постоянство баз и фиксацию заготовок в приспособлениях на автоматических линиях. Установочными элементами используемых при этом приспособлений служат два жестких или выдвижных пальца и опорные планки. Один из пальцев выполняют цилиндрической, а другой — ромбической формы. Рабочую часть цилиндрического пальца выполняют по посадке $h6$ (C), $g6$ (D) или $f7$ (X), выбираемой в зависимости от требуемой точности установки заготовки (рис. 59). Палец ромбической формы называют срезанным пальцем. Он предназначен для того, чтобы заготовка не могла повернуться вокруг оси цилиндрического пальца и занимала определенное положение в приспособлении. Ромбическая форма срезанного пальца необходима потому, что установить заготовку на два цилиндрических пальца, выполненных по точной посадке, нельзя из-за отклонений расстояний между центрами отверстий, которые всегда больше, чем зазоры в посадочных отверстиях. Использование одного из пальцев ромбической формы обеспечивает значительно меньшее покачивание заготовки в пределах допуска на длину межцентровых расстояний δL .

Минимальный перекос получается в том случае, если у ромбического пальца большая ось ромба перпендикулярна к линии центров отверстий детали. Расчет срезанного пальца сводится к определению

максимальной ширины пояса, допускающего установку каждой детали партии, изготовленной в пределах допуска на межцентровое расстояние.

Возможно также и решение обратной задачи, а именно определение допуска на межцентровое расстояние отверстий, удовлетворяющего требованиям установки детали в приспособлении.

4.7. Установка заготовок по центровым отверстиям

При обработке на станках деталей типа валов, цилиндров и других трубных заготовок часто применяют установку их на специально выполненные центровые отверстия.

ГОСТ 14034—74 устанавливает восемь форм центровых отверстий, из которых формы *A*, *B* и *T* — с углом конуса 60° (рис. 60, *a*), формы *C* и *E* — с углом конуса 75° (рис. 60, *б*), с дугообразной образующей — форма *R* (рис. 60, *в*) и с метрической резьбой — формы *F* и *H* (рис. 60, *г*).

Рекомендации по применению установленных форм центровых отверстий приведены в табл. 3.

Данные для выбора центровых отверстий в зависимости от массы изделий (заготовок) приведены в табл. 4.

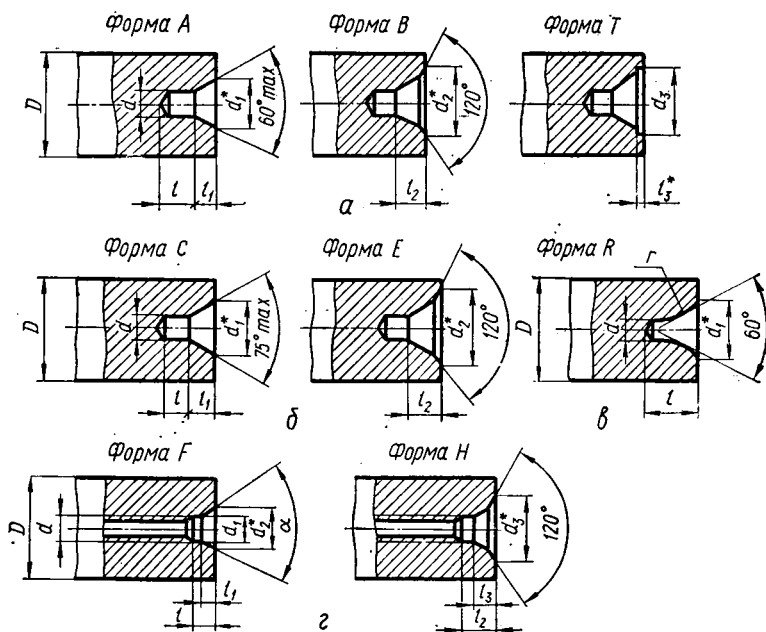


Рис. 60. Центровые отверстия:

a — с углом конуса 60° ; *б* — с углом конуса 75° ; *в* — с дугообразной образующей; *г* — с метрической резьбой

Форма центровых отверстий	Применение
<i>A</i>	Когда после обработки необходимость в центровых отверстиях отпадает
<i>B</i>	Когда сохранность центровых отверстий в процессе их эксплуатации гарантируется соответствующей термообработкой
<i>T</i>	Когда центровые отверстия являются базой для многократного использования, а также когда центровые отверстия сохраняются в готовых изделиях
<i>C</i>	Для оправок и калибров-пробок
<i>E</i>	Для крупных валов (назначение аналогично с формой <i>A</i>)
<i>R</i>	Для крупных валов (назначение аналогично с формой <i>B</i>)
<i>F</i>	В случаях, когда требуется повышенная точность обработки
<i>H</i>	Для монтажных работ, транспортирования, хранения и термообработки деталей в вертикальном положении

Установка заготовки вала по двум центровым отверстиям дает возможность совместить ось детали с осью центров и таким образом свести к нулю погрешности от несовмещения технологической базы с собственной системой координат для всех размеров, заданных от оси вала.

Установка заготовок по центровым отверстиям получила широкое применение благодаря простоте конструкции приспособления, возможности реализации принципа постоянства баз и отсутствию погрешности от несовмещения баз для диаметральных размеров.

Для реализации теоретической схемы базирования (рис. 61) в качестве установочных элементов

Таблица 4

Масса изделия, кг. не более	d , мм	Форма центровых отверстий
50	2	<i>A, B, T</i>
80	2,5	
90	3,15	
100	4	
200	5	
300	6,3	
500	8	
800	10	
1500	12	
2500	16	
8000	20	
20 000	25	
1500	8	<i>C, E</i>
3000	12	
9000	20	
20 000	30	
35 000	40	
80 000	50	
120 000	63	

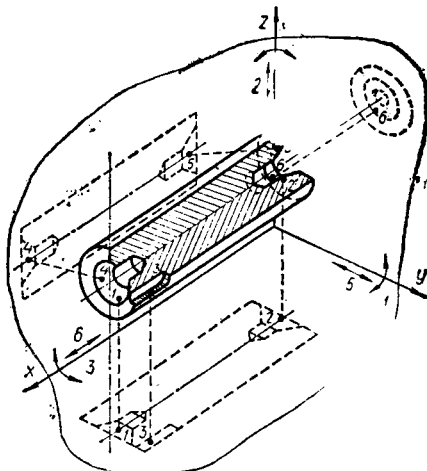


Рис. 61. Теоретическая схема базирования вала по центровым отверстиям

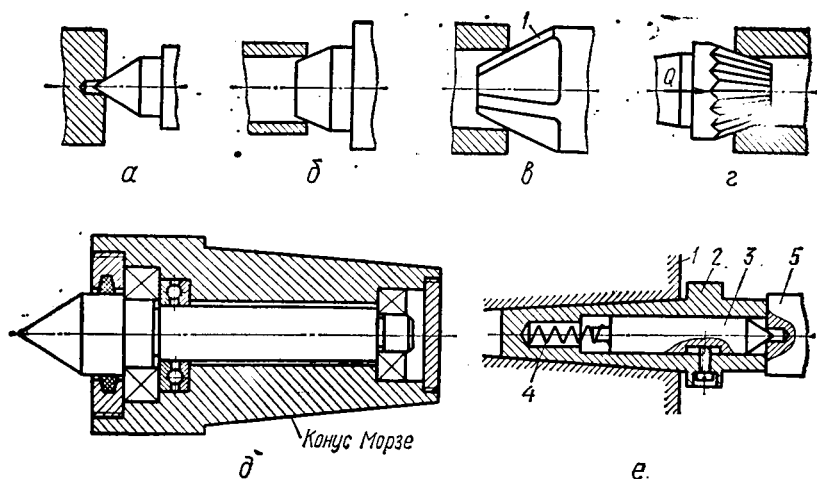


Рис. 62. Конструктивные разновидности центров

используют жесткие (рис. 62, а, б, в, г) и вращающиеся (рис. 62, д, е) центры с углами конуса 60 и 75°.

Срезанные центры (рис. 62, б) применяют для установки труб, гильз и подобных им заготовок по коническим фаскам. На рис. 62, в показана схема установки специального центра с тремя узкими ленточками 1 на кромки отверстия черновой заготовки. Поводковый центр (рис. 62, г) обеспечивает передачу крутящего момента за счет внедрения рифлений в поверхности конической фаски при приложении к центру осевой силы Q . Этот центр обеспечивает передачу момента, необходимого для чистовых операций, но портит поверхность базовой фаски заготовки.

В современных быстроходных токарных станках, а также при обработке тяжелых деталей в заднюю бабку ставится вращающийся центр (рис. 62, д). Он обладает пониженной по сравнению с жестким центром жесткостью, но не изнашивается и не портит базовых поверхностей, так как вращается вместе с заготовкой.

Вращающийся центр, представляющий собой самостоятельное устройство с конусом Морзе для установки в пиноли задней бабки любого станка, называется универсальным. Если такой центр выполнен заодно с пинолью задней бабки, то он называется специальным вращающимся центром.

На рис. 62, е приведена схема плавающего центра, который устанавливается в шпиндель станка 1 при необходимости точной ориентации заготовки по длине. При поджатии заготовки 5 задним центром плавающий центр 3 утапливается в корпусе 2, сжимая пружину 4 до тех пор, пока торец детали не упрется в торец корпуса или в специальный упор. При этом, независимо от глубины центрового отверстия, торцы всех заготовок в партии примут вполне определенное положение, при котором установочная и измерительная базы совместятся и погрешность базирования будет равна нулю.

4.8. Зажимные механизмы приспособлений

Зажимные механизмы приспособлений выполняют очень важную функцию по обеспечению надежного контакта заготовки с установочными элементами и предотвращают ее смещение и вибрацию в процессе обработки.

Зажимные механизмы могут выполнять функции установочно-зажимных в том случае, если их используют для повышения точности положения координатной системы технологической базы относительно координатной системы приспособления при установке.

Если обработке подлежат большие заготовки, масса которых больше величины усилий, возникающих в процессе резания, то зажимные механизмы могут не применяться. К зажимным механизмам приспособлений предъявляют ряд требований: удобство в работе и свободный доступ к зажимам; простота конструкции и невысокая стоимость изготовления; надежность закрепления заготовок и неизменность их положения при обработке; быстрота действия зажима; устранение влияния зажима на деформации заготовки и частей приспособления; направленность действующих усилий зажима на неподвижные опоры; сохранность положения заготовки, достигнутая базированием.

Зажимные механизмы приспособлений делят на простые и комбинированные. К простым (или элементарным) механизмам относятся: винтовые, клиновые, эксцентриковые, рычажные, шарнирно-рычажные. Простые механизмы принято называть зажимами. Комбинированные состоят из двух-трех заблокированных последовательно простых приспособлений. Комбинированные механизмы принято называть прихватами. По числу точек приложения силы зажима механизмы делят на единичные и многократные. Многократные механизмы зажимают одну деталь по нескольким точкам или несколько деталей одновременно и с равными силами.

По степени механизации зажимные механизмы делят на: 1) ручные, требующие применения мускульной силы. При использовании ручных механизмов для зажима заготовок усилие зажима не должно превышать 15 кгс (147 Н). Ручные механизмы применяют в единичном и мелкосерийном производстве; 2) механизированные, представляющие собой компоновку простых или комбинированных механизмов с механизированными приводами. Применяют их в серийном и массовом производстве; 3) автоматизированные зажимные механизмы, которые приводятся в действие перемещающимися частями станков (столами, суппортами, шпинделями и др.), силами резания или центробежными силами вращающихся масс. Зажим и раскрепление заготовки при их использовании происходит без участия рабочего. Применяют автоматизированные зажимные механизмы в крупносерийном и массовом производстве.

Главной задачей при разработке любого приспособления является установление типа и размеров зажимного устройства, а также определение силы, развиваемой приводом. Задача решается путем построения схемы закрепления деталей в приспособлении и определения величины потребных сил зажима, точек приложения и направления

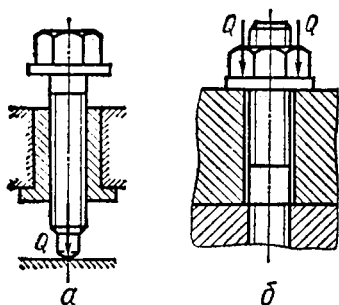


Рис. 63. Схемы винтовых зажимов

их, исходя из схемы действия и значений сил резания и моментов.

Для любого зажимного механизма можно записать уравнение сил и перемещений:

$$Q = Wi; \quad S_Q = Swi_n, \quad (103)$$

где W , Sw — сила и перемещение, передаваемые от силового привода зажимному механизму; i , i_n — передаточные отношения сил и перемещений, характеризующие конструктивные параметры механизма; S_Q — перемещение (ход) исполнительного звена механизма.

Передаточные отношения комбинированных механизмов определяют как произведение входящих в них простых передаточных отношений сил и перемещений:

$$i_k = \prod_{g=1}^n i_g; \quad i_{n_k} = \prod_{g=1}^n i_{n_g}.$$

Тогда уравнения (103) для комбинированных механизмов принимают вид

$$Q = W \prod_{g=1}^n i_g; \quad S_Q = Sw \prod_{g=1}^n i_{n_g}, \quad (104)$$

где n — число простых механизмов, входящих в комбинированный.

Для правильного выбора типа зажимного механизма и расчета его конструктивных параметров необходимо для всех разновидностей механизмов иметь уравнения сил и перемещений (103). Для этого определяют передаточные отношения каждого механизма через его конструктивно-размерные параметры [4, 13].

Обладая рядом достоинств (простота конструкции, надежность в работе, относительно невысокая стоимость изготовления и эксплуатации), винтовые зажимы находят широкое применение в приспособлениях с ручным закреплением заготовок, с механизированным приводом, а также на автоматических линиях при использовании приспособлений-спутников. В зависимости от конструктивного исполнения винтового зажима непосредственное зажатие может осуществляться как винтом при неподвижной резьбовой втулке, так и гайкой при неподвижной шпильке (рис. 63).

Для создания силы зажима Q необходимо на рукоятке приложить силу W , равную

$$W = Q \frac{r_{cp}}{l} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1), \quad (105)$$

где r_{cp} — средний радиус резьбы, мм; l — вылет ключа, мм; α — угол подъема резьбы; φ_1 — угол трения в резьбовой паре.

В период непосредственного зажатия заготовки в месте контакта винта (гайки) с ее поверхностью будут возникать дополнительные

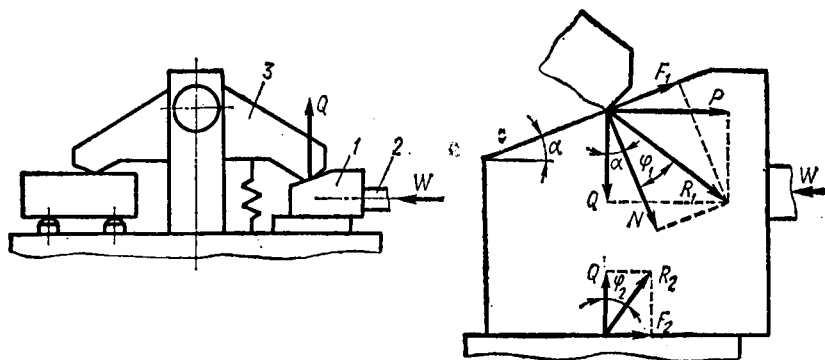


Рис. 64. Схема механизма с плоским односкосым клином и силы, действующие на клин

потери силы на трение. Эти потери принято выражать через момент трения на опорном торце винта (гайки) $M_{тр}$, величина которого находится в непосредственной зависимости от конструкции пяты зажимного винта или размеров опорного торца зажимной гайки.

Условие равновесия винта (гайки) с учетом $M_{тр}$

$$Wl = Qr_{ср} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + M_{тр}. \quad (106)$$

Использование клина как зажимного элемента в приспособлениях очень выгодно во всех отношениях. Этому способствуют простота его изготовления, надежность в работе и многоплановость применения за счет незначительных конструктивных изменений. Он может быть использован как простой зажимной элемент, непосредственно действующий на заготовку, и в качестве промежуточного звена в сложных зажимных механизмах.

Клиновые зажимы очень компактны и легко размещаются в приспособлениях. Использование клина в зажимных механизмах обеспечивает увеличение и изменение направления передаваемой силы, а при определенных углах (в пределах $6-15^\circ$) клиновой механизм обладает свойствами самоторможения [31].

Клин очень широко используют в следующих конструктивных вариантах зажимов: механизмы с плоским односкосым клином; многоклиновые (многоплунжерные) механизмы; эксцентрики, т. е. механизмы с криволинейным клином; торцовые кулачки, т. е. механизмы с цилиндрическим клином.

Пример применения плоского односкосого клина можно рассмотреть, используя схему комбинированного зажима, приведенную на рис. 64.

Здесь клин 1, на который через шток 2 действует сила привода W , последовательно соединен с рычажным зажимом 3, передающим на заготовку силу зажима Q . В процессе зажима заготовки клин под действием силы W движется влево, поворачивая рычаг вокруг оси вращения. При движении клина на его плоскостях возникают нормальные силы Q , N и силы трения F_1 , F_2 :

$$F_1 = N \operatorname{tg} \varphi_1 = N f_1; \quad F_2 = Q \operatorname{tg} \varphi_2 = Q f_2.$$

где φ_1 и φ_2 , f_1 и f_2 — углы и коэффициенты трения на соответствующих поверхностях клина.

После зажатия заготовки в конечном положении клин будет находиться в равновесии. Чтобы рассмотреть равновесие клина под действием всех приложенных к нему сил, необходимо равнодействующую R_1 сил N и F_1 разложить на силы Q и P . Из условия, что клин находится в равновесии, вытекает, что вертикальная составляющая по величине равна Q . Из силового многоугольника горизонтальная составляющая P равна

$$P = Q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1). \quad (107)$$

Сумма проекций всех сил на направление силы W

$$P + F_2 - W = 0 \quad \text{или} \quad Q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + Q \operatorname{tg} \varphi_2 = W,$$

откуда

$$W = Q [\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + \operatorname{tg} \varphi_2]. \quad (108)$$

Если трение существует только на наклонной поверхности клина, т. е. закрепляемая заготовка перемещается вместе с клином в направлении действия силы W , то $\operatorname{tg} \varphi_2 = 0$ и

$$W = Q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1). \quad (109)$$

Существенным недостатком рассмотренного механизма является низкий коэффициент полезного действия, т. е. большие потери на трение, которые увеличиваются с уменьшением угла клина.

С целью повышения коэффициента полезного действия клинового механизма рекомендуется на поверхностях клина трение скольжения заменять трением качения.

Многоклиновые механизмы бывают с одним, двумя и большим числом плунжеров. Одно- и двухплунжерные обычно используются в качестве зажимных, а многоплунжерные — в качестве центрирующих механизмов патронов и оправок.

Конструктивно одноплунжерные механизмы могут быть с двухопорным плунжером, с консольным плунжером без роликов и с одним или двумя роликами.

Расчетные формулы одноплунжерных механизмов с консольным и двухопорным плунжером (рис. 65) можно получить, рассмотрев равновесие клина 1 и плунжера 2 каждого механизма в отдельности. Так как клин 1 является плоским односкосым, то

$$Q' = W \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + \operatorname{tg} \varphi_2}; \quad (110)$$

$$P = Q' \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1). \quad (111)$$

Сила P , действующая на консольный плунжер 2 (рис. 65, а), вызывает его перекося, т. е. поворот относительно средней точки O (в пределах зазора), и создает давления на направляющие, распределенные по закону треугольника.

Нормальные равнодействующие N этих давлений удалены от вершины прямого угла на расстояние $\frac{1}{3}$ катета a , т. е. расстояние между силами N равно $\frac{2}{3} a$.

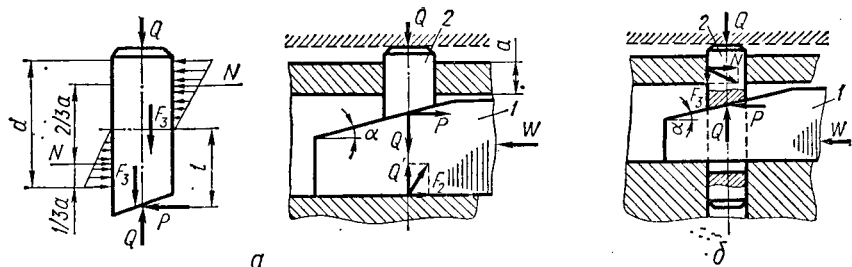


Рис. 65. Схемы одноплунжерных зажимных механизмов

При условии равновесия плунжера сумма моментов сил P и N относительно точки O $Pl - N \frac{2}{3}a = 0$, откуда

$$N = P \frac{3l}{2a} = Q' \frac{3l}{2a} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1). \quad (112)$$

Для осуществления зажима заготовки плунжер под действием клина перемещается вверх. Этому перемещению препятствуют силы трения $F_3 = N \operatorname{tg} \varphi_3$. Используя равенство (112), получим

$$F_3 = Q' \frac{3l}{2a} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_3. \quad (113)$$

Сумма проекций всех сил на вертикальную ось $Q + 2F_3 - Q' = 0$. Подставив значение F_3 , будем иметь $Q + Q' \frac{3l}{2a} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_3 - Q' = 0$, откуда

$$Q' = Q \frac{1}{1 - \frac{3l}{2a} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_3}. \quad (114)$$

Приравнявая между собой правые части уравнений (110) и (114), будем иметь

$$\frac{W}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + \operatorname{tg} \varphi_2} = Q \frac{1}{1 - \frac{3l}{2a} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_3},$$

откуда

$$W = Q \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + \operatorname{tg} \varphi_2}{1 - \frac{3l}{2a} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_3}. \quad (115)$$

При использовании двухопорного плунжера (рис. 65, б) действие силы P не вызывает перекоса, а только прижимает его к одной стороне направляющей. В таких условиях при перемещении плунжера 2 сила трения F_3 будет $F_3 = P \operatorname{tg} \varphi_3$ и уравнение (114) можно записать следующим образом:

$$Q' = Q \frac{1}{1 - \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_3}. \quad (116)$$

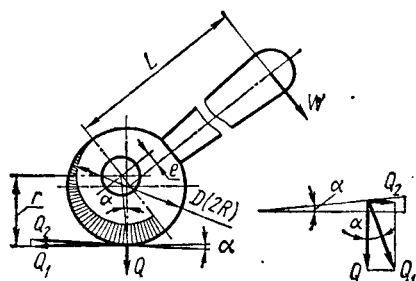


Рис. 66. Эксцентрик круглый

Приравнивая выражения (110) и (115), получим

$$W = Q \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + \operatorname{tg} \varphi_3}{1 - \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_3}. \quad (117)$$

Эксцентриковые зажимы по сравнению с винтовыми являются быстродействующими, хотя по силе зажима значительно уступают им. Эксцентрик представляет собой соединение в одной детали двух элементов — круглого диска радиуса r и плоского односкосного клина, основание которого как бы накручено на окружность диска, а наклонная его плоскость превращена в криволинейную поверхность. При повороте эксцентрика вокруг оси вращения диска клин входит в зазор между диском и заготовкой и развивает силу зажима Q . По форме выполнения рабочей поверхности эксцентрики подразделяются на круглые, рабочая часть которых выполнена по окружности, и криволинейные, рабочая часть которых выполнена по спирали. Криволинейные эксцентрики обладают способностью создания стабильной силы зажима в партии заготовок, но технология их изготовления значительно сложнее по сравнению с круглыми эксцентриками, поэтому последние нашли широкое применение в зажимных механизмах приспособлений.

К недостаткам круглого эксцентрика (рис. 66) относится непостоянство угла α подъема его кривой, вследствие чего зажимающее усилие возрастает непропорционально углу поворота. Зажимающий ход круглого эксцентрика при повороте на 90° равен величине эксцентриситета.

Допуск δ на размер заготовки не должен превышать величину эксцентриситета e . Считается, что заготовка будет надежно закреплена в том случае, если принимать эксцентриситет эксцентрика $e \geq 1 \div 1,5\delta$. Во избежание случая раскрепления заготовки в период ее обработки круглые эксцентрики необходимо изготавливать самотормозящимися. Достигается это за счет установления правильного соотношения диаметра эксцентрика D и величины эксцентриситета e , которая называется характеристикой эксцентрика.

При проектировании эксцентрикового зажима необходимо по требуемой для закрепления заготовки силе зажима Q определить его конструктивно-размерные параметры и, в первую очередь, те из них, от которых зависит расчет характеристики эксцентрика. В зависимости от величины коэффициента трения характеристика может изменяться.

В практике проектирования эксцентриков принято считать, что при коэффициенте трения $f = 0,1$ (угол трения $5^\circ 43'$) $\frac{D}{e} \geq 20$, при $f = 0,15$ (угол трения $8^\circ 30'$) $\frac{D}{e} \geq 14$. Таким образом, самоторможение обеспечивается условием, при котором f всегда должно быть больше $\operatorname{tg} \alpha$. При одинаковых размерах эксцентрики с характеристикой $\frac{D}{e} \geq$

≥ 14 обеспечивают больший зажимающий ход, чем при $\frac{D}{e} \geq 20$. Самоторможение у таких эксцентриков начинается при угле $\beta = 40^\circ$, если $f \geq 0,1$.

Величина силы зажима Q , развиваемая круглым эксцентриком, зависит от диаметра эксцентрика, угла подъема α (в момент зажима), величины момента на рукоятке и коэффициентов трения на участке зажима и на оси эксцентрика.

Если систему эксцентрика рассмотреть в статическом состоянии (при зажиме), то получим равенство моментов:

$$Wl = Q_1 r; \quad r = \frac{R + e \sin \beta}{\cos \alpha}; \quad \alpha^\circ = \arctg \frac{e \cos \beta}{R + e \sin \beta},$$

где Q_1 — сила, развиваемая эксцентриком под действием силы W , приложенной к рукоятке, направлена перпендикулярно к прямой, опущенной из центра вращения к точке зажима. Составляющими этой силы являются сила зажима Q и сила Q_2 , стремящаяся сдвинуть заготовку: $Q_2 = Q_1 \cos \alpha$. Заменяв в равенстве моментов Q_1 на Q_2 , выражение примет вид

$$Wl = Q_2 \frac{1}{\cos \alpha} r,$$

откуда

$$Q_2 = W \frac{L}{r} \cos \alpha. \quad (118)$$

Рассматривая действие эксцентрика как действие одностороннего клина, получим силу зажима Q без учета потерь на трение

$$Q = Q_2 \frac{1}{\tg \alpha}. \quad (119)$$

Выразив потери на трение на участке зажима и оси вращения через тангенсы углов, получим силу зажима

$$Q = Q_2 \frac{1}{\tg(\alpha + \varphi_1) + \tg \varphi_2}. \quad (120)$$

Используя (118) для замены Q_2 , получим

$$Q = W \frac{L}{r} \frac{1}{\tg(\alpha + \varphi_1) + \tg \varphi_2} \cos \alpha.$$

Учитывая, что значение $\cos \alpha$ при небольшом угле подъема кривой ($\alpha = 5^\circ 43'$, $\tg \alpha = 0,1$) будет равно 0,995, т. е. почти единице, им можно пренебречь. Тогда

$$Q = WL \frac{1}{[\tg(\alpha + \varphi_1) + \tg \varphi_2] r}. \quad (121)$$

Так как $WL = M$ представляет необходимый момент на рукоятке, то

$$M = Q [\tg(\alpha + \varphi_1) + \tg \varphi_2] r, \quad (122)$$

где r — расстояние от оси вращения до точки соприкосновения эксцентрика с зажимаемой поверхностью; R — радиус эксцентрика; β — угол поворота эксцентрика при зажиме; $\operatorname{tg} \varphi_1$ и $\operatorname{tg} \varphi_2$ — коэффициенты трения соответственно на зажимающей поверхности и оси эксцентрика.

Другие конструктивные параметры эксцентриковых зажимов, например, диаметр цапфы эксцентрика можно определить из условия отсутствия контактных деформаций смятия, задаваясь ее шириной b ,

$$d = \frac{Q}{b [\sigma_{\text{см}}]},$$

где $[\sigma_{\text{см}}]$ — допускаемое напряжение на смятие материала цапфы. Ширину рабочей части эксцентрика B определяют из уравнения напряжений смятия в месте контакта его с заготовкой или промежуточной деталью

$$\sigma_{\text{см}} = 0,565 \sqrt{\frac{Q}{RB \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)}},$$

где 0,565 — коэффициент; E_1 , E_2 , μ_1 и μ_2 — модули упругости и коэффициенты Пуассона соответственно для материалов эксцентрика и заготовки или промежуточной детали. Изготавливать эксцентрики (и промежуточные детали) рекомендуется из стали 20Х с цементацией рабочей поверхности на глубину 0,8—1,2 мм с закалкой до твердости HRC 55—60.

Если принять для стали $E_1 = E_2 = E$ и $\mu_1 = \mu_2 = 0,25$, то получим

$$\sigma_{\text{см}} = 0,415 \sqrt{\frac{QE}{RB}},$$

откуда

$$B = 0,0172 \frac{QE}{R\sigma_{\text{см}}^2}. \quad (123)$$

Эксцентриковые зажимы являются самыми быстродействующими из всех ручных зажимных механизмов. По быстродействию они сравнимы с пневмозажимами. К недостаткам эксцентриковых зажимов относятся: малая величина рабочего хода, ограниченная величиной эксцентриситета; повышенная утомляемость рабочего, связанная с приложением силы при откреплении заготовки; ненадежность зажима при работе инструмента с ударами или вибрациями из-за опасности самооткрепления. Несмотря на эти недостатки, эксцентриковые зажимы нашли широкое применение в приспособлениях, используемых в мелкосерийном и серийном производстве.

Рычажные зажимы аналогично клиновым применяются в сочетании с другими простыми зажимами, образуя более сложные зажимные механизмы. Наличие рычага позволяет изменять величину и направление передаваемой силы, а также осуществлять одновременное и

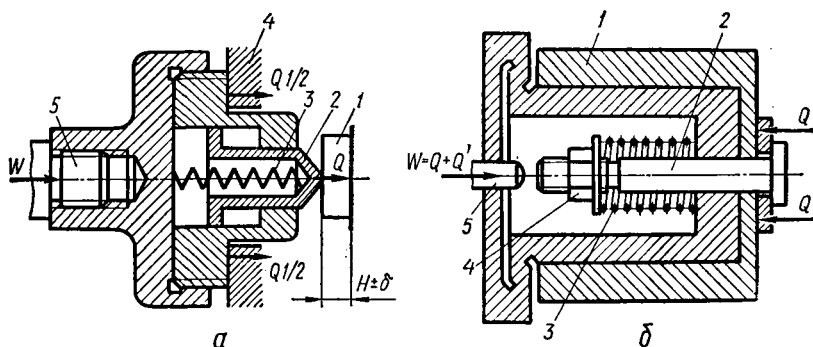


Рис. 67. Схемы пружинных зажимов

равномерное закрепление заготовки в двух местах. В зависимости от требований в каждом конкретном случае можно использовать различные схемы рычажных зажимов. Одни из них могут обеспечивать наибольший выигрыш в силе, другие изменять направление исходной силы, третьи обеспечивают компактность конструкции и т. д. Если в конструкции рычажного механизма имеются шарнирные сочленения, то они называются шарнирно-рычажными механизмами, отличительной особенностью которых является возможность одновременной передачи сил в двух направлениях и увеличения запаса хода.

В пружинных зажимных механизмах для преобразования исходной силы привода W в силу зажима Q используется обычно цилиндрическая пружина сжатия.

Для обеспечения необходимой силы зажима Q пружина сжимается на определенную величину f_n . В конструкциях пружинных зажимов приспособлений обычно используют две основные схемы, представленные на рис. 67. В схеме рис. 67, а необходимое сжатие пружины 3 достигается перемещением штока привода 5. Передача силы Q на заготовку 1 осуществляется плунжером 2. Для ограничения избыточной силы привода Q' используется неподвижный упор 4.

В схеме, представленной на рис. 67, б, необходимое сжатие пружины 3 регулируется гайкой 4 при настройке приспособления. Заготовка 1 воспринимает действие силы зажима Q через тягу 2. Для открепления заготовки шток 5 привода силой W подает вправо тягу 2, дополнительно сжимая пружину 3. В пружинных зажимах устанавливают только нормализованные пружины с заданными характеристиками.

Достоинствами пружинных зажимов являются простота конструкции и возможность относительно просто автоматизировать процессы закрепления и открепления заготовок.

Использование многократных зажимов позволяет резко повысить производительность труда за счет сокращения вспомогательного времени операции, так как одним зажимом одновременно закрепляется несколько деталей. Приняв за классификационный признак направление сил зажима всевозможные конструкции многократных зажимов можно разбить на следующие группы: последовательного действия —

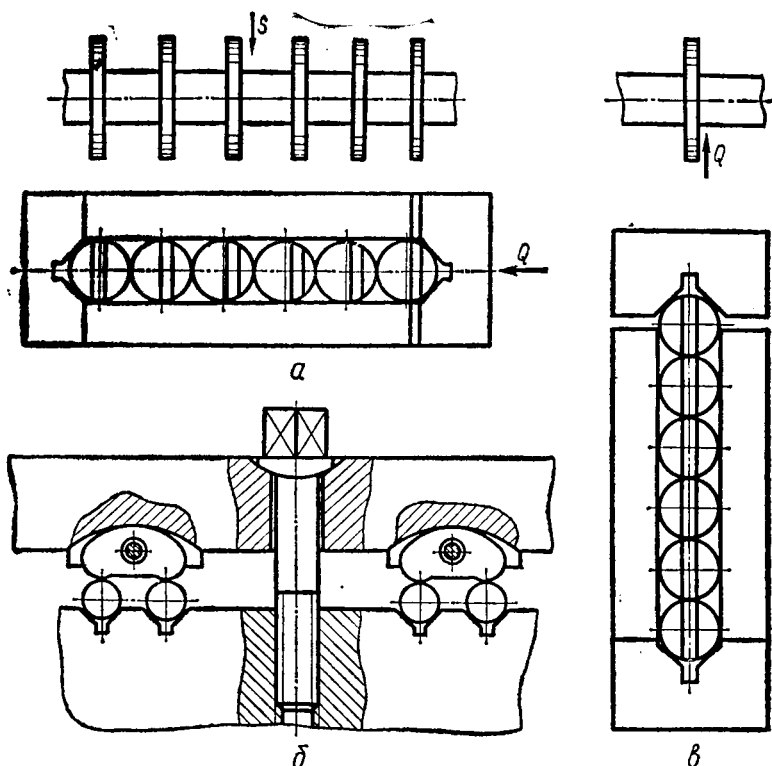


Рис. 68. Схемы многократных зажимов

когда сила зажима передается последовательно от одной детали к другой (рис. 68, а, б); параллельного действия — когда сила зажима распределяется одновременно на несколько деталей (рис. 68, в); параллельно-последовательного действия — когда совместно применяют приведенные выше приемы зажима деталей.

На выбор той или другой схемы последовательного зажима деталей цилиндрической формы оказывает влияние направление подачи режущего инструмента. В схеме, приведенной на рис. 68, а, могут возникнуть погрешности в расположении обрабатываемых поверхностей как следствие смещения осей деталей из-за разности их диаметров в пределах допуска на изготовление.

Схема, приведенная на рис. 68, б, используется при последовательном зажиме цилиндрических деталей в тех случаях, когда движение подачи инструмента параллельно направлению зажимного усилия. Погрешности в расположении обрабатываемых поверхностей, связанные с установкой деталей, исключаются.

В зажимных механизмах параллельного действия сила зажима будет распределяться соответственно на число параллельно зажимаемых деталей, поэтому их количество (при постоянной силе зажима) ограничивается величиной возникающих усилий резания.

4.9. Установочно-зажимные механизмы приспособлений

Установочно-зажимные механизмы применяют для повышения точности координатной системы технологической базы относительно координатной системы приспособления при установке.

Ввиду того что эти механизмы выполняют одновременно функции установочных и зажимных элементов, они должны быть подвижными в направлении зажима и выполнены с высокой точностью, чтобы не потерять установочные свойства в процессе многократных циклов работы. Установочно-зажимные механизмы могут быть ориентирующие (определяют одну плоскость симметрии детали) и самоцентрирующие (определяют две взаимно перпендикулярные плоскости).

Самоцентрирующие механизмы необходимо применять в тех случаях, когда требуется обеспечить высокую точность размеров, заданных на детали от оси технологической базы. Для определения положения двух координатных плоскостей технологической базы в механизме необходимо иметь не менее трех элементов, перемещающихся к центру или от него одновременно и с одинаковой скоростью.

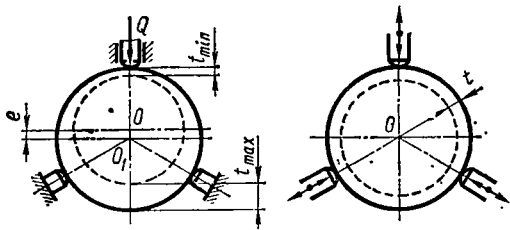
Целесообразность применения самоцентрирующих механизмов, особенно в случае обработки цилиндрических поверхностей, можно показать на примере обработки цилиндрической шейки в двух вариантах (рис. 69). В первом варианте обработка осуществляется в патроне с двумя неподвижными и одним подвижным кулачком, зажимающим заготовку. В данном случае за счет погрешности базового диаметра образуется некая несоосность e обрабатываемой и базовой поверхностей. Во втором случае использован самоцентрирующий патрон, обеспечивающий совмещение оси базовой поверхности с собственной осью. Кроме более высокой соосности, применение самоцентрирующих механизмов обеспечивает равномерную глубину резания t , в результате чего сокращается необходимый минимальный припуск на обработку.

Погрешность установки в самоцентрирующем приспособлении называют погрешностью центрирования (несовпадения осей обработанной и базовой поверхностей). Причиной появления погрешности центрирования является неточность изготовления и износ деталей механизма самоцентрирования.

В зависимости от формы рабочей поверхности подвижных элементов самоцентрирующие механизмы бывают призматические и кулачковые.

Самоцентрирующие механизмы можно разделить по конструкции механизма, обеспечивающего взаимосвязанное движение подвижных элементов, на следующие группы: винтовые; реечно-зубчатые; спирально-реечные; клиновые (клино-плунжерные и клино-шариковые) и с упруго-деформируемыми элементами (цанговые, мембранные, гидропластовые). Использование тех или других конструкций зависит от величины присущей им погрешности центрирования и величины создаваемой силы зажима. Например, винтовые самоцентрирующие механизмы обычно применяют при выполнении черновых и получистовых операций. Этому способствует невысокая точность центрирования

Рис. 69. Схемы самоцентрирующего механизма



(погрешность 0,3—0,5 мм) и возможность создания большой силы зажима, необходимой при снятии припуска на первых проходах.

Реечно-зубчатые механизмы используют в тисках для обеспечения встречного перемещения призм. Погрешность центрирования этих механизмов такая же, как у винтовых.

Спирально-реечные, клино-плунжерные и клино-шариковые механизмы нашли широкое использование в патронах и приспособлениях для токарных и шлифовальных станков, обеспечивая центрирование как по наружной, так и по внутренней цилиндрическим поверхностям.

Из всех установочно-зажимных механизмов приспособлений наибольшую точность центрирования обеспечивают механизмы с упруго-деформируемыми элементами, к которым относятся цанговые, мембранные и гидропластовые механизмы. Этому способствуют некоторые конструктивные особенности механизмов, заключающиеся в меньшем, по сравнению с другими самоцентрирующими механизмами, количестве деталей, обеспечивающих встречное перемещение установочных элементов, и объединении последних в одну упруго-деформируемую деталь. Изготовление такого механизма с высокой точностью технологически несложно, а обеспечение точности упругого перемещения отдельных его частей при работе послужило основанием называть упруго-деформируемые механизмы прецизионными.

Цанги представляют собой разрезные пружинящие втулки, используемые для центрирования и зажима пруткового материала различного профиля и отдельных заготовок как по наружным, так и по внутренним поверхностям.

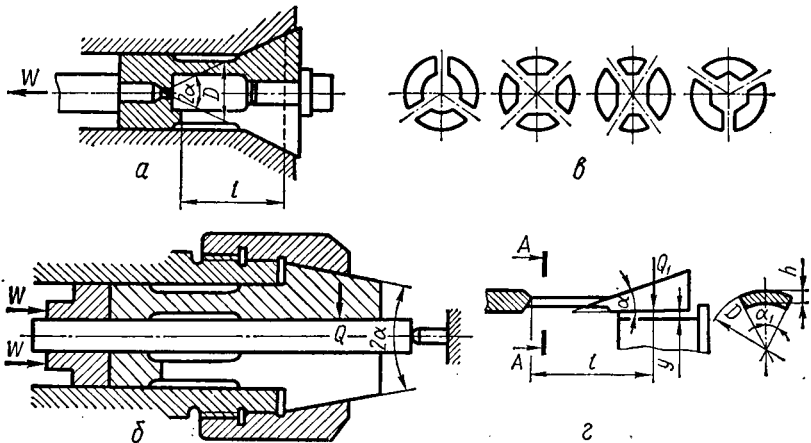


Рис. 70. Схема цанговых механизмов

Материалом для изготовления небольших цанг являются стали У8А или 65Г, а для крупных цанг — стали 15ХА или 12ХНЗА. Термической обработкой достигают твердости рабочей части цанги $HRC\ 55-62$, а хвостовой — $HRC\ 30-40$. Последующими технологическими операциями (шлифованием, разрезанием перемычек шлифовальным кругом, разжимом лепестков и отпуском) достигают такого качества изготовления, которое обеспечивает точность установки заготовок в цангах в пределах $0,02-0,05$ мм.

Базовую поверхность заготовок, закрепляемых в цангах, необходимо обрабатывать с точностью не грубее 9 квалитета. Конструктивно цанговые механизмы для центрирования по наружному диаметру могут быть выполнены с тянущей (рис. 70, а) и толкающей цангой (рис. 70, б). Первые обычно используют для установки и закрепления штучных заготовок, а вторые — для закрепления пруткового материала. Для точной установки заготовок по длине внутри или впереди цанги устанавливают осевые упоры.

Свойство самоцентрирования цанговый механизм приобретает за счет взаимодействия конусов цанги и корпуса, в результате чего происходит радиальное одновременное перемещение всех лепестков с одинаковой скоростью.

Профиль заготовки и рабочий диаметр цанги определяют число ее лепестков. На рис. 70, в показаны цанги с различным количеством и формой лепестков. Принято, что при $d \leq 30$ мм цанга должна иметь три лепестка, при $30 < d < 80$ мм — четыре, а при $d \geq 80$ мм — шесть.

Для определения силы Q' , затрачиваемой на деформацию лепестка цанги, воспользуемся схемой, приведенной на рис. 70, г. Здесь лепесток цанги рассматривается как консольно закрепленная балка с вылетом l . Стрела прогиба

$$y = \frac{Q'l^3}{3EJ}.$$

Сила Q' для всех лепестков

$$Q' = \frac{3EJ}{l^3} yn,$$

где E — модуль упругости материала цанги, Па; J — момент инерции сектора сечения цанги в месте заделки лепестка цанги:

$$J = \frac{D^3 h}{8} \left(\alpha + \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 - \frac{2 \sin \alpha^2}{\alpha_1} \right);$$

D — наружный диаметр поверхности лепестка, см; α_1 — половина угла сектора лепестка цанги, рад; l — длина лепестка цанги от места заделки до середины конуса, см; n — число лепестков цанги; y — стрела прогиба лепестка, т. е. радиальный зазор между цангой и заготовкой.

Следовательно, сила тяги цанги будет равна

$$W = \left(Q + \frac{3EJ}{l^3} yn \right) [\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + \operatorname{tg} \varphi_2]. \quad (124)$$

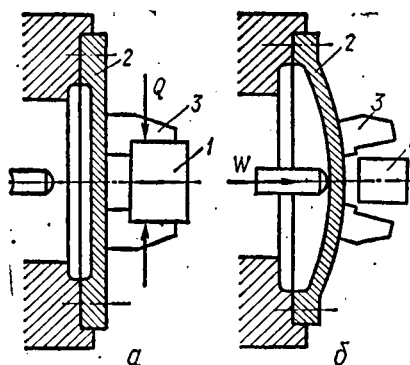


Рис. 71. Схема самоцентрирующего патрона с мембраной

Центрирование по наружной и внутренней цилиндрическим поверхностям деталей типа втулок, дисков, колец и т. п. легко осуществляется с помощью мембранных механизмов. Основной деталью такого механизма является мембрана, представляющая собой круглую пластину из стали 65Г, У10А или 35ХГС, термически обработанную до твердости $HRC\ 40-45$.

Наибольшее применение нашли рожковые, чашечные и кольцевые мембраны. Патроны с рожковыми и чашечными мембранами обеспечивают точность центрирования $0,003-0,005$ мм. Схема самоцентрирующего патрона с мембраной, приведенная на рис. 71, а, показывает, что обрабатываемая деталь 1 зажимается внутренними силами упругости мембраны 2 посредством ее кулачков 3. Сила тяги W (рис. 71, б) разводит кулачки при откреплении детали 1. Силовой расчет мембранного механизма производится, исходя из условия, что мембрана рассматривается как круглая, заделанная по контуру пластина, нагруженная равномерно распределенным по окружности расположению кулачков изгибающим моментом.

Кольцевые мембраны (рис. 72, а) отличаются малыми габаритными размерами и способностью обеспечивать значительные по величине силы зажима, особенно в пакетном исполнении (рис. 72, б). Здесь на корпус 1 надеты два пакета мембран 4, между которыми расположена втулка 3. При перемещении стержня 5 влево пакеты сплющиваются, увеличиваются в диаметре и деталь 2 центрируется и зажимается.

В настоящее время широкое применение для центрирования заготовок как по наружному, так и по внутреннему диаметру нашли

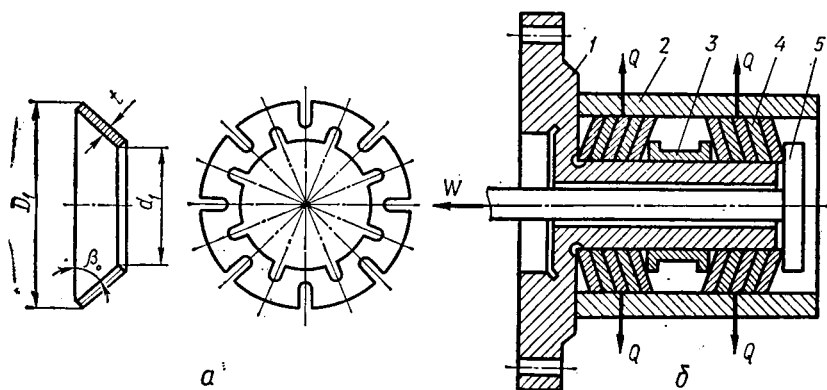
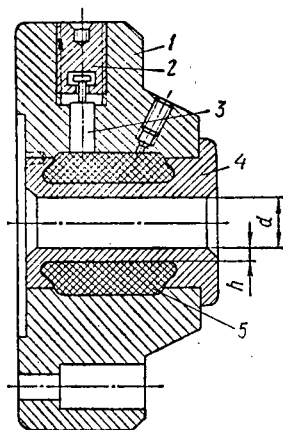


Рис. 72. Схема патрона с кольцевыми мембранами

Рис. 73. Самоцентрирующий патрон с гидропласт-массой

упругие патроны с использованием гидропластмассы. Схема такого механизма приведена на рис. 73. В корпусе 1 запрессована тонкостенная втулка 4. Между корпусом и тонкостенной частью втулки расточена кольцевая замкнутая полость, заполненная гидропластмассой 5. Центрирование и зажим заготовки — результат деформации тонкостенной части втулки от действия на нее давления, регулируемого винтом 2 через плунжер 3. Точность базовых поверхностей закрепляемых деталей должна быть не ниже 7—9 квалитетов. Погрешность центрирования 0,01 мм. Для изготовления тонкостенных втулок применяют стали марок У7А, 30ХГС с последующей термообработкой до твердости HRC 35—40.



4.10. Силовые приводы в приспособлениях

Силовые приводы в приспособлениях служат для выполнения самых разнообразных функций, связанных с технологическим процессом обработки деталей. Самой главной функцией силового привода в приспособлении является создание исходной силы тяги W , необходимой для зажима заготовки силой Q . В числе других функций можно назвать: механизацию и автоматизацию приемов загрузки и выгрузки заготовок, поворот приспособления, управление станком, удаление стружки, регулирование подачи СОЖ и др.

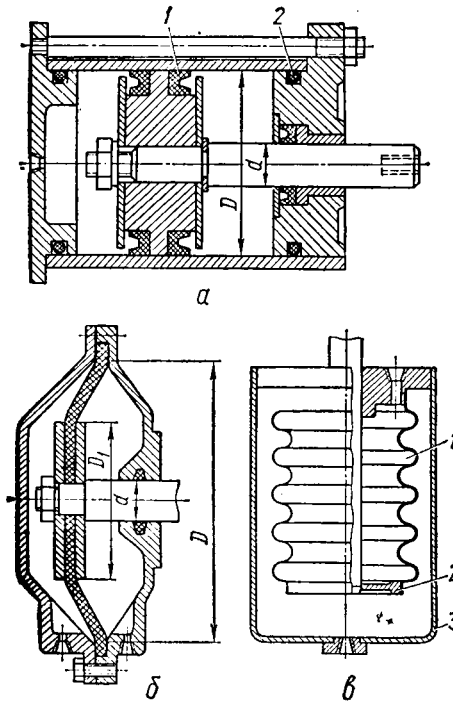
Для обеспечения работы зажимных механизмов приспособлений используется механическая энергия, поэтому силовой агрегат привода должен выполнять функции преобразователя того или иного вида энергии в механическую.

По виду преобразуемой энергии силовые приводы классифицируются на: пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, электрические, электромагнитные, магнитные, вакуумные, от движущихся частей станка, центробежно-инерционные и др.

По степени автоматизации приводы подразделяют на механизированные и автоматизированные.

Пневматические приводы нашли широкое использование в приспособлениях благодаря простоте конструкции, скорости действия, легкости управления, надежности в работе и т. д. Однако они имеют и недостатки. Например: большие габариты силовых агрегатов, низкое давление воздуха в них, неплавное перемещение штока, большой шум при выпуске отработанного воздуха. Все эти недостатки сказываются на повсеместном использовании пневмоприводов в приспособлениях. Силовым агрегатом пневмопривода является пневмодвигатель. Пневмодвигатели бывают трех типов: поршневые (пневмоци-

Рис. 74. Типы пневмодвигателей



фрированную полость, а обратный — при подаче сжатого воздуха внутрь камеры 3. В связи с такой конструктивной особенностью рабочий ход пневмокамеры и сильфона ограничен величиной возможной упругой деформации.

По источнику энергии обратного хода приводы выполняются: одностороннего действия, в которых для осуществления рабочего хода используется энергия сжатого воздуха, а обратного — усилие пружины; двухстороннего действия, — в которых используется только энергия сжатого воздуха. В приспособлениях, где не требуется большой ход поршня и большая сила при обратном ходе, целесообразно применять приводы одностороннего действия, позволяющие экономить до 30—40% сжатого воздуха.

По методам компоновки с приспособлением приводы могут быть прикрепляемые, встроенные и агрегируемые. Прикрепляемые, в зависимости от способа крепления на корпусе, подразделяются на неподвижные, качающиеся и вращающиеся. Отличительной особенностью встроенных пневмодвигателей является то, что полость под поршень или диафрагму выполняют непосредственно в корпусе приспособления.

Пневмодвигатель, выполненный в виде самостоятельного механизма, закрепленного на станке отдельно от приспособления, но связанного с ним посредством рычажного или другого усилителя, называют агрегируемым. Такие приводы нашли применение для закрепления различных заготовок в серийном производстве.

линдры, рис. 74, а), диафрагменные (пневмокамеры, рис. 74, б) и сильфонные (рис. 74, в). Нормальные диаметры пневмоцилиндров составляют ряд: 50; 60; 75; 100; 125; 150; 200; 250 и 300 мм. Пневмокамеры конструктивно выполнены в виде двух литых или штампованных чашек, между которыми установлена и плотно зажата стальная или специальная тканевая диафрагма. Сильфонный пневмодвигатель состоит из камеры 3, штока 2 и рабочей полости 1. Наиболее сложным элементом является рабочая полость двигателя, представляющая собой гофрированную замкнутую камеру из тонкой коррозионностойкой стали или латуни. Рабочий ход осуществляется при подаче сжатого воздуха в упругорасширяющуюся го-

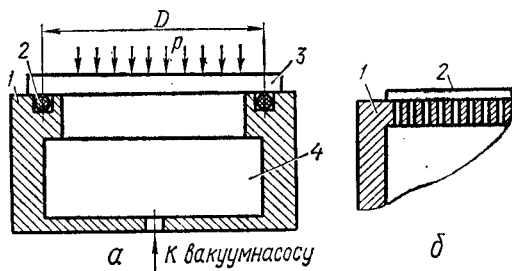
Рис. 75. Схема вакуумного зажима

В гидроприводах в качестве рабочей жидкости обычно используется масло, энергия давления которого и является исходной энергией для создания зажимной силы. По сравнению с пневмоприводом гидропривод обладает рядом преимуществ, к которым можно отнести: возможность обеспечения давления масла в 10—30 раз выше, чем воздуха, что позволяет резко уменьшить габариты силовых агрегатов и приспособления в целом; возможность упрощения приспособления за счет применения в их конструкции зажимных механизмов-усилителей; значительное повышение к. п. д. зажима и компактность многократных зажимов за счет замены механических усилителей необходимым количеством гидроцилиндров, управляемых от одного золотника; уменьшение износа и коррозии движущихся частей за счет одновременно выполнения маслом функций рабочей и смазочной жидкости; плавность и бесшумность работы.

Наряду с перечисленными преимуществами гидроприводы не лишены и недостатков. Наиболее существенными из них являются: высокая первоначальная стоимость изготовления за счет обеспечения плотности соединений нагнетательной, контрольно-регулирующей и управляющей аппаратуры; повышенные требования к эксплуатации в целях предупреждения утечки масла.

В пневмогидравлическом приводе используются преимущества пневматического и гидравлического приводов одновременно. В пневматический цилиндр подается воздух низкого давления, однако, на выходе за счет разности в диаметрах поршней воздушного и гидравлического цилиндров давление увеличивается в 10—15 раз. Такой эффект достигается потому, что давление возрастает прямо пропорционально квадрату диаметров пневматических поршней. Потери энергии в пневмогидравлических приводах — меньше, а надежность их работы — выше.

Вакуумные зажимные устройства работают по принципу непосредственной передачи атмосферного давления на обрабатываемую заготовку. Их применяют для зажима заготовок из различных материалов с плоской базовой поверхностью на чистовых операциях. Принцип их работы можно рассмотреть на рис. 75, а. Здесь заготовка 3 устанавливается на приспособление 1, из полости 4 поршневыми одно- или двухступенчатыми насосами отсасывается воздух, в результате чего заготовка прижимается к корпусу. Для обеспечения герметичности в системе установлено уплотнение 2 из резинового шнура. Уплотнение в системе может отсутствовать в случае установки тонкостенной заготовки чистой шлифованной базой на установочную базу 1 с рядом мелких, тесно расположенных отверстий (рис. 75, б). Через эти отверстия



отсасывается воздух и происходит многоточечный прижим заготовки 2 к плоскости 1. Силу, прижимающую заготовку к плите, можно определить по формуле

$$Q = F (1,033 - p) k, \quad (125)$$

где F — полезная площадь прижима, см^2 (площадь, ограниченная резиновым уплотнением, или суммарная площадь отверстий в крышке); 1,033 — атмосферное давление, бар; p — остаточное давление в камере, бар; k — коэффициент герметичности вакуумной системы ($k = 0,8 \div 0,85$).

Электромагнитные зажимные устройства выполняют в виде плит и планшайб для закрепления стальных и чугунных заготовок с плоской базовой поверхностью. Эти приводы, обеспечивая равномерное распределение сил притяжения по всей опорной поверхности заготовки и свободный доступ к ней, находят широкое применение в приспособлениях.

Схема плиты, состоящей из корпуса 1 с заключенными в нем электромагнитами 6 и крышки 2 с полюсниками 3, представлена на рис. 76. Полюсники окружены изоляцией из немагнитного материала 4. Заготовка 5 устанавливается на крышке 2 и замыкает магнитный поток между двумя полюсниками. Заготовка прижимается к зеркалу плиты за счет действия сил магнитного потока.

Силы, развиваемые электромагнитами, невелики, поэтому их применяют для прижима заготовок на отделочных операциях. Установлено, что с увеличением толщины заготовки сила притяжения ее к электромагнитной плите увеличивается, а с увеличением высоты микронеровностей — уменьшается.

Силу притяжения при закреплении заготовки магнитным полем можно определить по формуле

$$Q = 4,06 \frac{\Phi^2}{s}, \quad (126)$$

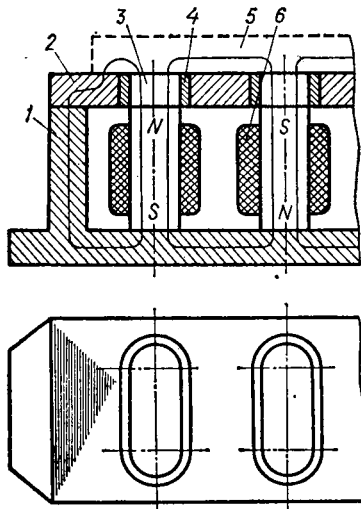


Рис. 77. Схема электромагнитного привода

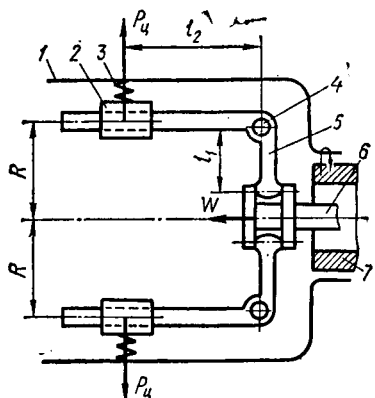


Рис. 76. Схема центробежно-инерционного привода

где 4,06 — коэффициент; Φ — величина магнитного потока, пересекающего опорную поверхность заготовки, Вб; s — площадь, на которую этот поток распространяется (активная площадь полюсников), см².

Выпускаются электромагнитные приспособления на специализированных предприятиях с определенными техническими характеристиками и основными размерами согласно ГОСТ.

Магнитные зажимные устройства также, в основном, представляют собой плиты и планшайбы, оснащенные постоянными магнитами.

Удерживаемая заготовка является якорем, через который проходит магнитный силовой поток.

Магнитные приводы имеют определенные преимущества по сравнению с электромагнитными. Эти преимущества связаны с отсутствием питания зажимных устройств электрическим током и заключаются в большей безопасности при работе и снижении стоимости эксплуатации приводов.

Центробежно-инерционные приводы применяют для быстроходных станков токарной группы. Они не требуют дополнительного источника энергии для создания силы зажима, просты в изготовлении и эксплуатации, включаются автоматически.

Схема центробежно-инерционного привода 1 показана на рис. 77. Привод закреплен на заднем конце шпинделя 7. Грузы 2 насажены на большие плечи рычагов 5, меньшие плечи связаны с тягой 6, пропущенной через полость шпинделя 7. При вращении шпинделя грузы расходятся, поворачивая рычаги вокруг осей 4, при этом тяга 6 перемещается и приводит в действие зажимной механизм, установленный на переднем конце шпинделя станка. Возвращение грузов и раскрепление заготовки производится пружинами 3. Силу зажима можно регулировать перемещением грузов по рычагам.

На сверлильных станках для привода зажима можно использовать движение подачи их шпинделей (рис. 78).

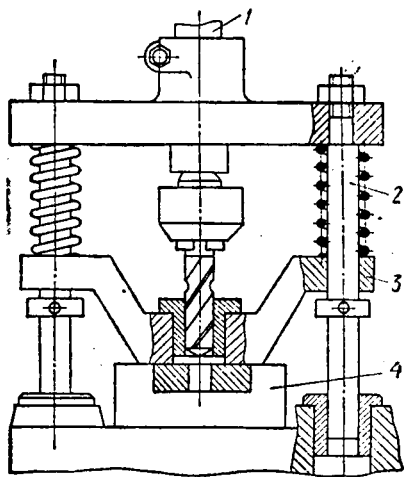


Рис. 78. Схема автоматизированного пружинного зажима заготовки в сверлильном приспособлении

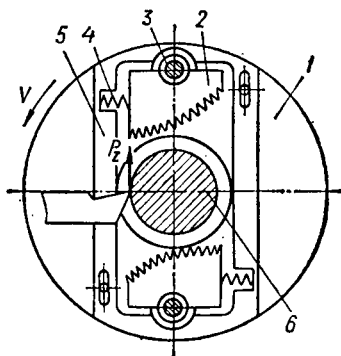


Рис. 79. Схема токарного подающего патрона с приводом от сил резания

Подвешенная к гильзе шпинделя 1 на скалках 2 подвесная кондукторная плита 3 опускается вместе с ним вниз до упора в заготовку 4. Дальнейший ход шпинделя приводит к сжатию пружины и созданию через плиту на заготовку силы зажима. В конструкции зажимного механизма необходимо предусматривать упругое звено (пружину, мембрану и т. п.), необходимое для компенсации колебаний размеров заготовок.

На токарных многолезцовых станках очень часто используется поводковый самозажимной патрон 1 с эксцентриковыми кулачками 2 (рис. 79), который можно рассматривать в качестве примера привода от сил резания. Здесь 6 — заготовка, установленная в центрах; 4 — пружины для прижатия кулачков к заготовке. В период резания сила P_z стремится повернуть заготовку, а вместе с ней и кулачки вокруг оси 3. Такой поворот сопровождается заклиниванием заготовки между кулачками. Чтобы зажим кулачков был равномерным, их устанавливают на плавающем ползуне 5. С ростом силы P_z зажим заготовки увеличивается. Открепление заготовки производится поворотом ее против часовой стрелки при остановленном шпинделе. Угол подъема спирали кулачков обычно находится в пределах 12—20°.

4.11. Направляющие элементы приспособлений

Направляющие элементы приспособлений обеспечивают повышение точности размеров обрабатываемых деталей, значительный рост производительности труда и меры безопасности. Исходя из этого, их условно разделяют на элементы, способствующие быстрой установке инструмента на требуемый размер (шаблоны и установовы), и определяющие положение, направление и траекторию относительного движения инструмента и заготовки (кондукторные втулки и копиры).

Шаблоны и установовы используют для ускорения наладки станков на рабочий наладочный размер и повышения точности обработки. Шаблоны чаще всего применяют при выполнении работ на токарных станках, а установовы — на фрезерных.

На примере установки двух подрезных резцов по шаблону 1 (рис. 80, а) можно показать преимущества как по точности наладки, так и по экономии времени на техническое обслуживание. Особенно это заметно в том случае, если шаблон является не съемным, а откидным, шарнирно закрепленным.

Другим примером шаблона для установки резца может служить установочное кольцо 1 (рис. 80, б), которое одевается на оправку вместе с обрабатываемой деталью 2.

Установка резцов осуществляется подводом их до соприкосновения с шаблоном, т. е. кольцом.

При обработке деталей на настроенных фрезерных станках с автоматическим получением точности размеров широко используют

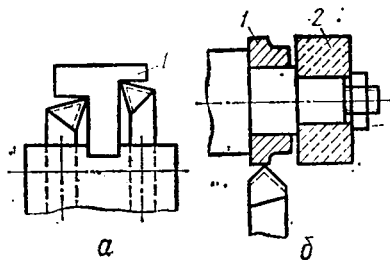


Рис. 80. Шаблоны для токарных станков

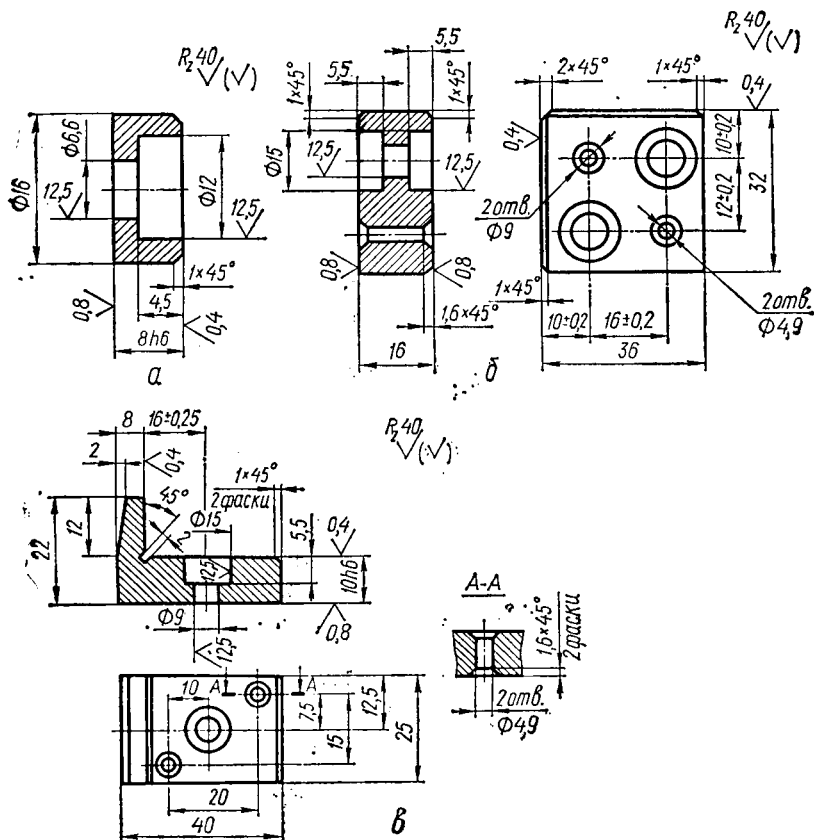


Рис. 81. Установы стандартные

установы или габариты, предусматриваемые в конструкции фрезерных приспособлений. Установы прикрепляют к корпусам приспособлений и служат они для координации взаимного положения фрезы и детали перед началом обработки. Применяемые в металлообработке установы стандартизованы и бывают высотные (рис. 81, а), торцовые (рис. 81, б), угловые (рис. 81, в) и угловые торцовые.

В процессе наладки станка между установом и фрезой помещают щуп (рис. 82), который должен плотно, но без защемления входить в зазор. Окончательная ориентировка положения достигается вращением фрезы. Непосредственное соприкосновение фрезы с установом во избежание его повреждения не допустимо.

Установы изготавливают из стали У7А или 20Х с термообработкой до HRC 55—60.

Кондукторные (направляющие) втулки, используемые для определения положения и направления режущего инструмента при обработке отверстий на сверлильных и расточных станках, устанавливают в кондукторных плитах приспособлений. При их применении

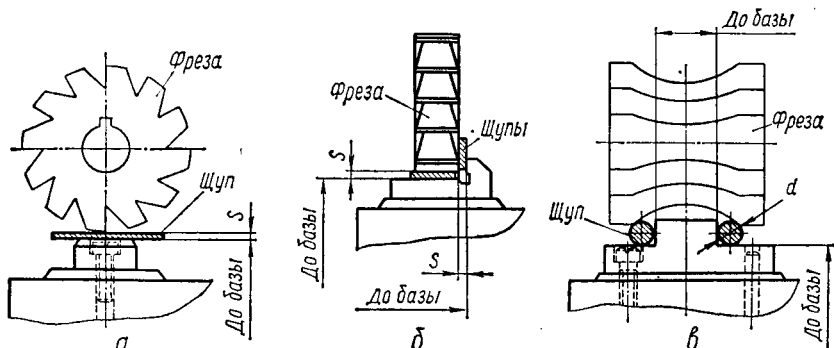


Рис. 82. Установы для фрезерных приспособлений

отпадает необходимость в разметке отверстий, уменьшается возможность увода инструмента, повышается его жесткость и, как следствие, возможность работы на высоких режимах резания.

В зависимости от применения кондукторные втулки могут быть неподвижными и вращающимися. Вращающиеся втулки применяют для направления расточных скалок при большом диаметре обработки и высоких скоростях резания. Вращение втулки вместе с инструментом значительно уменьшает износ ее рабочего отверстия и увеличивает срок службы.

Конструктивные особенности неподвижных втулок позволяют их разделить на четыре группы: постоянные, сменные, быстросменные и специальные.

В соответствии со стандартом постоянные втулки (рис. 83, а) выполняют без буртика (тип I) или с буртиком (тип II) и используют в приспособлениях при мелкосерийном производстве для обработки отверстий одним инструментом. Ориентировочно принимается чис-

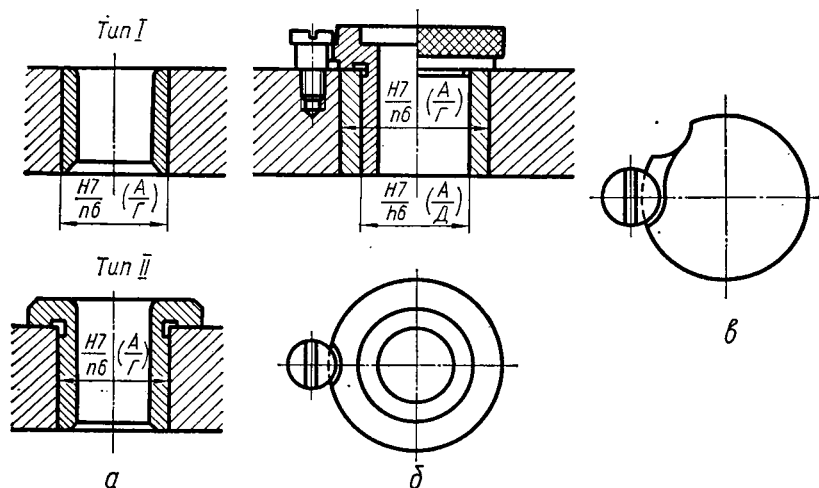


Рис. 83. Типы кондукторных втулок

ло сверлений через кондукторную втулку, изготовленную из стали У10А или У12А, в промежутке 10 000—15 000.

Сменные втулки (рис. 83, б) применяют в том случае, когда необходима быстрая их замена в случае износа. Для обеспечения такой замены сменные втулки устанавливают в промежуточные втулки по посадке $\frac{H7}{h6} \left(\frac{A}{D} \right)$.

Проворот и подъем сменной втулки от действия сил резания и сходящей стружки исключается за счет прижатия ее к кондукторной плите головкой крепежного винта. Сменные втулки обычно применяют в приспособлениях, используемых в крупносерийном и массовом производстве.

При обработке отверстия последовательно несколькими инструментами рекомендуется в используемых приспособлениях применять быстросменные втулки (рис. 83, в). Они отличаются от сменных втулок наличием среза на буртике, что позволяет производить их смену, не вывинчивая крепежный винт.

Специальные втулки применяют в тех случаях, когда применение стандартных невозможно или неэффективно.

Высоту втулок, используемых в сверлильных приспособлениях, рекомендуется назначать равной 1,5—2 диаметрам отверстий под инструмент, а расстояние от нижнего торца втулки, закрепленной в кондукторной плите, до поверхности обрабатываемой заготовки обычно принимается от $\frac{1}{3}$ до 1 диаметра отверстия под инструмент. При этом улучшаются условия сверления за счет повышения жесткости системы и облегчается отход стружки.

Допуски на диаметр отверстия в кондукторных втулках для прохода сверл и зенкеров устанавливают по посадке $F8(X)$, а для развоток — $G7(D)$ в системе вала.

Кондукторные втулки работают в условиях значительного трения с инструментом и сходящей стружкой и поэтому изготавливаются с диаметром отверстий до 25 мм из сталей У10А и У12А с последующей закалкой до твердости HRC 60—65. Втулки больших диаметров изготавливают из стали 20 с последующей цементацией на глубину 0,8—1,2 мм с закалкой до той же твердости.

Копиры обычно устанавливают на тех приспособлениях, которые используются для обработки фасонных поверхностей на универсальных станках. Их применение обеспечивает траекторию относительно движения инструмента, необходимую для получения нужного контура детали. При этом необходимость в предварительной разметке, а также в ручной подаче инструмента при обходе криволинейного контура отпадает, что способствует повышению точности обработки и производительности труда на операции.

Профиль копира определяется графически. Он должен быть строго увязан с профилем обрабатываемой детали, режущего инструмента и копирного пальца. На рис. 84 показана схема фрезерования наружного контура детали для случая, когда фреза и копирный палец имеют общую ось. Для графического построения контура копира следует: вычертить контур заготовки; разделить его на равные

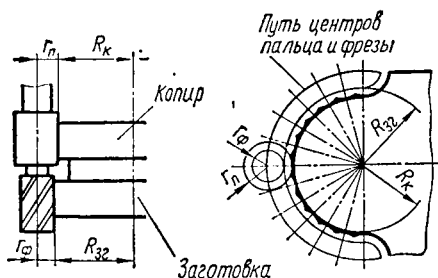


Рис. 84. Фрезерование наружного контура по копиру

части лучами, проведенными из центра O ; вычертить путь фрезы через точки пересечения ее оси с лучами; по точкам, полученным от пересечения окружности пальца с лучами, построить контур копира.

Радиус копира

$$R_k = R_{3г} + r_{\phi} + r_n. \quad (127)$$

В частном случае $R_k = R_{3г}$, а $r_{\phi} = r_n$, где $R_{3г}$ — радиус заготовки; r_{ϕ} — радиус фрезы; r_n — радиус пальца.

4.12. Вспомогательные элементы приспособлений. Корпусы приспособлений

К вспомогательным элементам приспособлений относятся поворотные, делительные, тормозные и прижимные устройства, а также выталкиватели.

Поворотные и делительные устройства служат для придания обрабатываемой заготовке различных положений относительно рабочего инструмента.

Делительные устройства применяют в многопозиционных приспособлениях, когда при одном закреплении детали в приспособлении производится обработка ее в различных положениях.

Делительные устройства приспособлений состоят из подвижных частей в виде дисков и плит, закрепленных на поворотной части, и деталей, фиксирующих положение первых в определенных положениях (фиксаторов). В конструктивном отношении наиболее прост шариковый фиксатор (рис. 85, а), но он не обеспечивает точного деления и не может воспринимать момента от сил обработки. Поворотная часть на следующее деление переводится вручную до характерного щелчка в результате западания шарика в очередное углубление. Несколько сложнее конструкция фиксатора с вытяжным цилиндрическим пальцем (рис. 85, б), который может воспринимать момент, но не

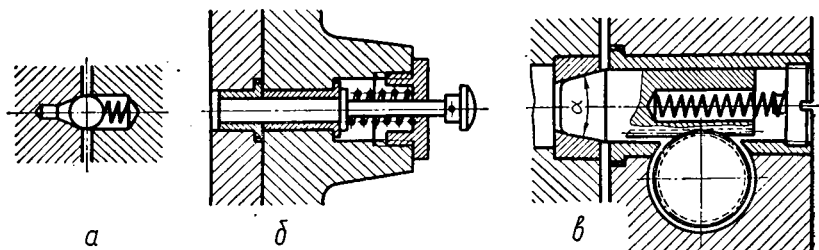


Рис. 85. Конструкции фиксаторов

обладает высокой точностью деления из-за наличия зазоров в подвижных соединениях.

Наибольшую точность деления обеспечивает фиксатор с коническим затачиванием (угол заточки не более 15°) выдвижного пальца (рис. 85, в).

Срок службы фиксатора и точность деления можно повысить за счет разгрузки его от поперечной нагрузки.

Обрабатываемые заготовки обычно закрепляют на подвижной части приспособления, а фиксаторы — в неподвижной части. Обрабатываемую заготовку в требуемом положении можно установить поворотом подвижной части приспособления вместе с закрепленной в ней заготовкой относительно неподвижной части или поворотом заготовки относительно неподвижной части приспособления (фиксация по детали).

По способу включения и выключения фиксаторы можно разделить на ручные и автоматические. Автоматические фиксаторы используют при закреплении для обработки небольших деталей, к точности фиксации которых не предъявляют больших требований.

Надо помнить, что фиксаторы весьма чувствительны к загрязнениям: они плохо срабатывают и увеличивают погрешность деления. Поэтому их рекомендуется использовать в конструкциях, хорошо защищенных от загрязнений и засорений.

В приспособлениях для обработки тяжелых заготовок вращение поворотной части осуществляется при помощи электрических, пневматических и других силовых приводов. Для гашения больших моментов применяют тормозные устройства, заблокированные с системой силового привода и фиксатором.

Жесткость, точность и уменьшение возможности возникновения вибраций в приспособлениях для фрезерования и других видов обработки значительно повышаются в том случае, если подвижная часть приспособления будет наглухо притягиваться к неподвижной с помощью специальных прижимных устройств.

К устройствам вспомогательного назначения относятся выталкиватели, основная функция которых заключается в ускорении выемки небольших деталей из приспособлений, а также быстродействующие конструкции защепок и откидных винтов, применяемых для крепления откидных крышек, плит или планок некоторых приспособлений.

Корпусы приспособлений являются базовыми деталями, где монтируют установочные элементы, зажимные устройства и остальные части и механизмы. Они воспринимают силы, возникающие при обработке, и зажимные силы.

У каждого корпуса есть основание, которое выполняется в соответствии с местом установки на станке и является наиболее массивной частью корпуса. Устойчивость приспособления будет больше в том случае, если основание корпуса больше высоты приспособления. Конструкция корпуса приспособления должна быть удобной для быстрой установки и снятия заготовки, для удаления стружки и отвода смазочно-охлаждающей жидкости, для свободного подвода и вывода

режущего инструмента. Корпус должен допускать установку и закрепление приспособления на станке без выверки, быть простым и дешевым в изготовлении и обеспечивать соблюдение требований техники безопасности.

Корпусы передвижных или кантуемых приспособлений для сверления должны обладать достаточной устойчивостью при разных положениях на столе станка. На всех позициях обработки центр тяжести приспособления не должен выходить за пределы опорных элементов корпуса.

Корпусы тяжелых приспособлений для удобства захвата при установке и снятии со станка обычно снабжаются рым-болтами. Конструктивные формы корпусов приспособлений могут иметь очертания прямоугольной плиты, планшайбы, корыта, тавра и др.

Материал для изготовления корпусов приспособлений подбирается такой, который в наибольшей мере обладает виброгасящими свойствами. Корпусы приспособлений изготавливают методами литья, сварки,ковки, резки из сортового проката, а также сборки из отдельных элементов на винтах или с гарантированным натягом.

Каждый из перечисленных методов обладает своими преимуществами и недостатками, однако используются они, исходя из общих требований, заключающихся в значительном снижении расходов и сокращении сроков изготовления без ущерба качества.

В последнее время корпуса небольших специальных станочных приспособлений для средних и легких работ начали выполнять из эпоксидных смол с наполнителями в виде стекловолокна, железного порошка и т. д. Отдельные детали (втулки, шпильки, планки, гайки и др.) могут быть установлены в литейную форму и залиты в корпус при его изготовлении. Корпусы из эпоксидных компаундов легки, прочны, износостойки и хорошо гасят вибрации.

Корпусы сложных конструкций можно изготавливать из стандартных деталей путем сборки. Такие элементы в машиностроении достаточно хорошо стандартизованы. В настоящее время стандартизовано 18 типов (260 типоразмеров) элементов корпусов, из которых можно собирать наиболее часто встречающиеся корпуса приспособлений для деталей размером $400 \times 400 \times 700$ мм.

4.13. Приспособления для крепления и фиксации режущего инструмента на станках. Сборочные приспособления

Эти приспособления или устройства применяются для ускорения установки и точной фиксации инструмента в предварительно настроенной технологической системе. Простейшими устройствами этого типа являются переходные втулки для крепления инструмента на сверлильных станках, оправки для дисковых и цилиндрических фрез, расточные скалки, державки для инструмента и др. Абсолютное большинство перечисленных простейших устройств нормализовано и стандартизовано.

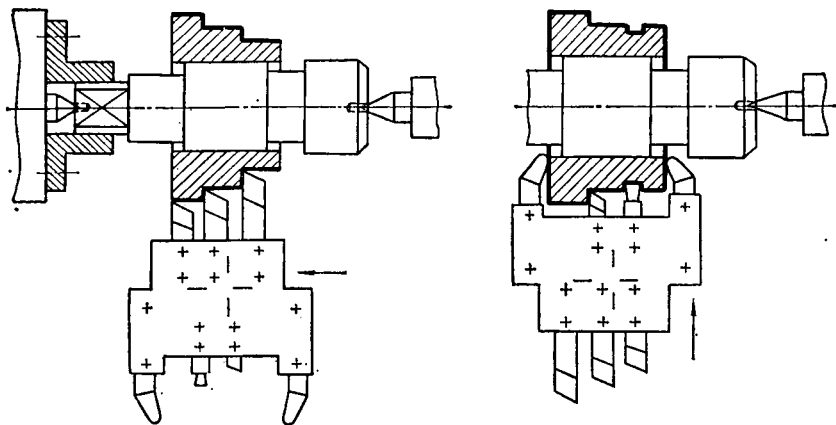


Рис. 86. Специальные поворотные резцедержатели для токарных станков

Однако не всегда удастся решить задачу высокой производительности и точности без использования специальных приспособлений. Примером этому может быть использование специальных патронов на переходах сверлильной операции, выполняемой без остановки шпинделя сверлильного станка.

Высокая производительность достигается при использовании многошпиндельных сверлильных, резьбонарезных и фрезерных головок, устанавливаемых на универсальные одношпиндельные сверлильные или фрезерные станки, а также применением многолезцовых державок в универсальных токарных станках.

Большую группу составляют приспособления, которые фактически являются дополнительными устройствами к универсальным металлообрабатывающим станкам. Они дают возможность выполнить на этих станках работы, которые по своему характеру обычно производятся на станках других типов, т. е. позволяют значительно расширить технологические возможности универсальных станков. К ним относятся приспособления для протачивания кольцевых канавок и нарезания резьбы на вертикально-фрезерных станках, долбления шпоночных пазов на поперечно-строгальных станках, поворотные головки к фрезерным станкам и другие устройства. Применение этих приспособлений и устройств способствует лучшему использованию оборудования и позволяет при необходимости заменить дорогостоящее специальное оборудование универсальным.

Немаловажную роль в реализации принципа последовательной и параллельно-последовательной концентрации на одном станке играют вышеперечисленные дополнительные устройства в тяжелом машиностроении, где количество перестановок крупных деталей должно быть минимальным.

Для сокращения времени обработки на токарных станках применяют специальные поворотные держатели, несущие несколько инструментов (рис. 86). В этом случае, используя продольную или поперечную подачу, можно осуществить одновременную обработку нескольких

поверхностей. Если предварительно настроить станок для работы по упорам, то можно автоматически получать заданные размеры обработанных поверхностей.

Сборочные приспособления служат для правильной установки и закрепления собираемых деталей и сборочных единиц. По степени специализации сборочные приспособления разделяют на универсальные и специальные. К универсальным приспособлениям относятся плиты, сборочные балки, трубины, угольники, домкраты, винтовые прихваты, призмы, клинья и другие устройства, используемые обычно в условиях мелкосерийного и единичного производства.

Плиты являются весьма важным универсальным устройством, так как на них производится установка, выверка и закрепление собираемых механизмов и машин. К их материалу, механической обработке, установке и выверке в горизонтальном положении предъявляются повышенные требования. Крепление собираемых элементов сборочных единиц или изделий осуществляется с использованием специальных продольных пазов Т-образной формы. Призмы и угольники используют для установки и закрепления узлов или базовых деталей. Установку производят на специально обработанную установочную поверхность со сквозными продолговатыми окнами для крепежных болтов. Для временного скрепления собираемых элементов, выполнения операций по запрессовке, правке, распрессовки и других вспомогательных работ применяют трубины.

В крупносерийных и массовых производствах для выполнения определенных операций используют специальные сборочные приспособления. В зависимости от назначения специальные приспособления могут быть двух типов. Первый тип объединяет приспособления для крепления базовых деталей и узлов собираемого изделия. Используют приспособления первого типа для придания детали необходимой устойчивости против сил, стремящихся нарушить ее положение в процессе сборки. Такими силами могут быть, например, силы, стремящиеся опрокинуть деталь при установке на нее узла со смещенным центром, или силы при затяжке винтовых соединений. К этим приспособлениям обычно не предъявляют требования точной установки закрепляемых деталей, однако, сила закрепления должна быть достаточной, чтобы предотвратить смещение детали от действия сил и моментов, возникающих при выполнении сборочных операций.

В качестве примера можно рассмотреть приспособление для крепления картера редуктора заднего моста автомобиля (рис. 87, а). Для

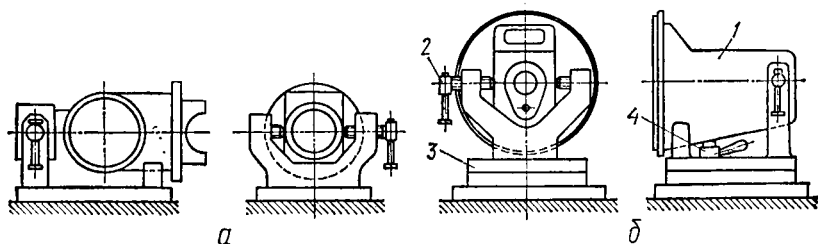


Рис. 87. Типы специальных одноместных приспособлений

создания больших удобств сборщикам и повышения производительности труда приспособления рекомендуют выполнять с поворотом (рис. 87, б). Здесь картер коробки передач 1 закреплен на опорах зажимом 2. Вращение поворотной части 3 вокруг вертикальной оси осуществляется вручную. Фиксация и закрепление после поворота на необходимый угол производится зажимом 4. Использование многоместных сборочных приспособлений дает значительный рост производительности труда за счет сокращения вспомогательного времени на один собираемый узел или изделие.

Второй тип специальных сборочных приспособлений объединяет приспособления для точной и быстрой установки соединяемых деталей или узлов. Выверка взаимного положения сопрягаемых элементов при использовании этих приспособлений не обязательна. Такие приспособления применяются для сварки, пайки, клепки, склеивания, развальцовки, посадки с натягом, винтовых и других видов сборочных соединений и являются необходимыми устройствами при автоматизации сборочных работ. Приспособления этого типа могут быть одно- и многоместными, стационарными и подвижными.

Особую группу в системе сборочных приспособлений составляют приспособления для предварительного деформирования собираемых упругих элементов (пружин, разрезных колец и т. д.), а также для выполнения соединений с натягом, когда при сборке необходимо приложение больших сил. Приспособления этой группы значительно облегчают труд сборщиков и способствуют росту производительности труда.

4.14. Контрольные приспособления

Контрольные приспособления позволяют ускорить выполнение контрольных операций как на промежуточных этапах обработки деталей или сборки изделий, так и на окончательных этапах приемки. В связи с резко возросшими требованиями к точности современных машин возникла необходимость конструирования контрольных приспособлений с измерителями высокой чувствительности.

Без достаточного изучения физической сущности возникновения первичных погрешностей при обработке или сборке изделий и отыскания пути их уменьшения или устранения правильно сконструировать контрольное приспособление невозможно. На выбор принципиальной схемы контрольного приспособления большое влияние оказывает заданная производительность контроля. В тех случаях, когда назначен 100% контроль деталей, обрабатываемых на поточной линии, необходимо контрольное приспособление такой производительности, чтобы время контроля одной детали было меньше заданного темпа поточной линии. При выборочном контроле требования к контрольному приспособлению могут быть снижены. В зависимости от размеров контролируемых деталей контрольные приспособления могут быть стационарными (для мелких и средних деталей) и переносными

(для крупных деталей). Контрольные приспособления могут быть одномерными и многомерными, позволяющими за одну установку проверять несколько параметров. Существуют автоматические контрольные устройства, которые производят сравнение фактических размеров изделия с заданными и в результате сравнения сортируют изделия на несколько групп или изменяют режим работы технологического оборудования.

Устройства автоматического контроля разделяют на две группы: для активного (технологического) контроля; для приемочного контроля (контрольно-сортировочные автоматы и полуавтоматы).

Наибольшая экономическая выгода получается в том случае, если контрольные приспособления из самостоятельных устройств превращаются в составную часть автоматических систем.

Контрольное приспособление состоит из установочных, зажимных, измерительных и вспомогательных элементов, установленных в корпусе приспособления.

Установочными являются те элементы приспособления, на которые проверяемая деталь или сборочная единица ставится своими измерительными базами относительно измерительного устройства. В качестве установочных элементов используют постоянные опоры со сферическими и плоскими головками, опорные пластинки, а также специальные кольца, секторы и т. д. Требования к этим элементам и рекомендации по их использованию мало чем отличаются от требований и рекомендаций для установочных элементов станочных приспособлений.

При выборе принципиальной схемы контрольного приспособления следует совмещать установочные и измерительные базы проверяемой детали. В то же время должно соблюдаться постоянство контакта опор приспособления и его измерительного устройства с заранее определенными участками базовых элементов детали. Несоблюдение этих условий обычно приводит к неправильной схеме контроля, предопределяющей искажение его результатов.

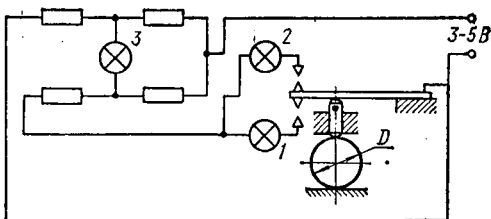
Главное назначение зажимных устройств контрольных приспособлений состоит в том, чтобы исключить смещение установленной для проверки детали или сборочной единицы относительно измерительного устройства и обеспечить плотный контакт установочных баз детали с опорами приспособления.

В контрольных приспособлениях, также как и в станочных, применяют ручные зажимные устройства, устройства с приводом и комбинированные, обеспечивающие одновременный и равномерный прижим контролируемых деталей к нескольким опорным элементам приспособления.

Выбор обычно падает на те из них, которые обеспечивают небольшие, но достаточные, а главное, стабильные по величине силы закрепления детали.

В тех случаях, когда деталь занимает вполне устойчивое положение на опорах приспособления и силы от измерительного устройства не изменяют этой устойчивости, необходимость в применении зажимных устройств отпадает.

Рис. 88. Схема контрольного приспособления с электроконтактным датчиком



Место приложения силы зажима должно быть выбрано так, чтобы не вызывать недопустимых деформаций детали и элементов контрольного приспособления. Считается допустимым, если влияние зажимного устройства на показания измерительного прибора не превышает 5% величины контролируемого параметра детали.

Измерительные устройства контрольных приспособлений являются самой ответственной их частью и делятся на предельные и отсчетные. Особую группу составляют устройства, работающие по принципу нормальных калибров.

В зависимости от измерительного устройства проверяемые изделия делятся на три категории: годные, брак по переходу за нижнюю границу допуска и брак по переходу за верхнюю границу допуска. В качестве простейших устройств применяют встроенные в контрольные приспособления жестко закрепленные или выдвижные предельные элементы в виде скоб, пробок, щупов и др. В контрольно-сортировочных автоматах и контрольных приспособлениях очень часто используют электроконтактные датчики. На рис. 88 приведена схема контрольного приспособления с электроконтактным датчиком, анализируя которую, можно установить, что если проверяемый размер D находится в поле допуска, то лампы 1 и 2 не загораются. Если проверяемый размер D меньше минимально допустимого, замыкаются нижние контакты и загорается лампа 1. При большем максимально допустимом размере загорается лампа 2. Когда размеры детали находятся в пределах допуска, происходит размыкание обоих контактов и загорается лампа 3. Сопротивления этой мостиковой схемы подобраны так, что при замыкании одного из контактов лампа 3 гаснет, поэтому на любой стадии работы приспособления горит одна из трех ламп. Отсутствие света говорит о неисправности схемы или выходе из строя ламп. Электроконтактные датчики удобны для многомерных контрольных приспособлений светофорного типа.

В современных контрольных приспособлениях нашли широкое применение индуктивные датчики и пневматические микрометры, обеспечивающие приспособлениям точность измерений 0,5—0,2 мкм.

Пневматические микрометры применяют двух основных типов: с манометрами и воздушными расходомерами (ротаметрами). Приборы с ротаметрами более точны и производительны. Их можно использовать для проверки размеров, правильности формы и взаимного положения поверхностей детали.

К вспомогательным устройствам контрольных приспособлений относятся поворотные устройства, используемые в приспособлениях для проверки радиального или осевого биения; ползуны для перемещения измерительных элементов в приспособлениях для проверки

прямолинейности или параллельности; приводные механизмы для вращения цилиндрических деталей при проверке правильности формы шеек или соосности их ступеней; подъемные устройства и выталкиватели для установки и снятия деталей с контрольного приспособления и др.

Все перечисленные основные и вспомогательные детали и устройства располагают на корпусе контрольного приспособления, представляющего собой массивную и жесткую плиту или корпусную деталь другой формы. Корпусы контрольных приспособлений, как правило, изготавливают из стойкого против коробления чугуна СЧ 24-44 или СЧ 28-48. Если используют серые чугуны СЧ 12-28 или СЧ 15-32, то корпусы необходимо подвергать старению.

4.15. Нормализация и стандартизация приспособлений и их элементов

Современное машиностроение является отраслью народного хозяйства, которая влияет на ускорение темпов научно-технического прогресса в целом. Конкретно это выражается в необходимости изготовления машин высокого качества при постоянном росте производительности труда и снижении их себестоимости. Эти требования могут быть реализованы только в условиях высокого уровня оснащенности технологических процессов необходимыми средствами производства и, в первую очередь, эффективными приспособлениями. Одновременно с этим научно-технический прогресс требует и частой замены изготавливаемых машин новыми, более совершенными. Все это приводит к тому, что сложная дорогостоящая технологическая оснастка должна заменяться новой, требующей затрат труда конструкторов, технологов и рабочих, занятых ее изготовлением. Во многих случаях складываются неблагоприятные обстоятельства со сроками подготовки производства, себестоимостью и качеством изготовления различных приспособлений.

Решению проблем, связанных с ускорением и удешевлением проектирования и изготовления приспособлений, во многом способствует унификация, нормализация и стандартизация деталей и элементов приспособлений. Комплекс мероприятий, связанных с унификацией, на заводе обычно начинается с рационального сокращения числа типов, видов и размеров имеющихся и запроектированных станочных и других приспособлений, а также их деталей и заготовок одного функционального назначения. После этого осуществляются работы по нормализации и стандартизации приспособлений и их элементов. Конечной целью нормализации в масштабах завода является разработка общезаводских нормалей, а ведомства — ведомственных нормалей. Высшей формой нормализации является разработка общесоюзных стандартов — ГОСТ на основе унификации и стандартизации.

Опыт работы предприятий машиностроения, приборостроения и других отраслей народного хозяйства, связанных с металлообработкой, показывает, что большинство приспособлений, в том числе и специальных, могут быть изготовлены из нормализованных и стандарт-

ных элементов. Это обеспечивает значительную экономию инженерного труда, связанного с проектированием, так как отпадает необходимость в разработке и изготовлении рабочих чертежей деталей и сборочных единиц приспособлений.

При должной организации эксплуатации приспособлений из нормализованных и стандартных деталей и сборочных единиц возможно многократное их использование за счет частичного ремонта или реставрации изношенных поверхностей.

Таким образом, экономические выгоды, связанные с внедрением нормализации и стандартизации в проектирование, изготовление и эксплуатацию приспособлений, неоспоримы. Вместе с тем, необходимость частой смены объектов производства, а следовательно, и замены специальных приспособлений делает их использование неэффективным. Решение этого противоречия нашло свое отражение в создании систем переналаживаемых сборно-разборных приспособлений (СРП), которые остаются специальными на этапе их использования, но универсальными на этапах проектирования и изготовления. Особенностью данных систем является то, что нормализованные и стандартные детали и сборочные единицы приспособлений становятся обратимыми, т. е. способными к многократному использованию. Это привело к резкому увеличению числа стандартных и нормализованных узлов и механизмов в приспособлениях и повысило их эффективность. При создании систем сборно-разборных приспособлений наиболее сложной работой оказалась нормализация корпусов приспособлений.

Задача придания универсальности корпусам приспособлений нашла свое принципиальное решение в двух направлениях. Первое из них заключается в нормализации вместе с корпусом входящих в него элементов с тем, чтобы эта сборочная единица в целом была достаточно универсальной. По этому принципу созданы системы универсально-наладочных приспособлений (УНП) и приспособлений для групповой и переменнo-поточной обработок.

Второе направление заключается в том, что любой корпус приспособления может быть собран из ограниченного числа многократно используемых геометрически простых нормализованных частей в виде плит, стоек, угольников и т. п. Этот принцип заложен в основу создания системы универсально-сборных приспособлений (УСП).

4.16. Характеристика систем универсально-наладочных и универсально-сборочных приспособлений

Система универсально-наладочных приспособлений основана на использовании сменных установочных, зажимных и направляющих деталей или сборочных единиц, закрепляемых на базе нормализованного приспособления. Так как базовая часть является постоянной, то она может быть изготовлена заблаговременно по существующим стандартам, а сменная часть — по мере необходимости и в зависимости от конструктивных особенностей обрабатываемых заготовок. Базовую часть приспособления обычно представляет корпус со встроенным или прикрепленным силовым приводом, зажимным устройством и

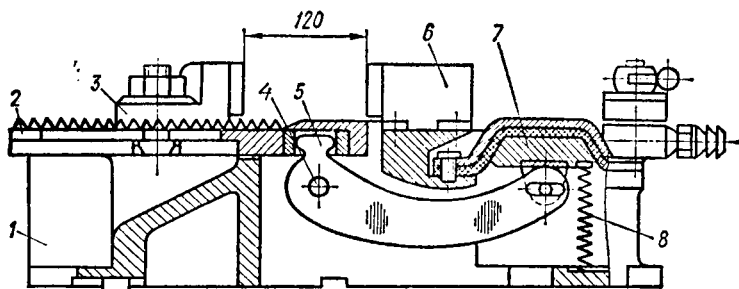


Рис. 89. Пневмотиски

другими элементами. Универсально-наладочные приспособления в наибольшей мере удовлетворяют нуждам серийного производства, так как при смене объекта производства этого же класса и других конструктивно-технологических параметров отпадает необходимость снятия их со станка. В данном случае происходит только перестановка сменных элементов, регулируемых опор и в некоторых случаях дополнительных зажимных устройств. Все это способствует сокращению подготовительно-заключительного времени и улучшению использования станочного оборудования во времени.

К числу нормализованных приспособлений, из которых можно собирать УНП, относятся машинные тиски, скальчатые кондукторы, пневматические патроны со сменными кулачками и другие устройства. В качестве примера УНП могут служить пневматические тиски (рис. 89), предназначенные для выполнения фрезерных, строгальных и других операций при обработке деталей средних размеров [31]. Здесь в корпусе 1 перемещается ползун 2, на котором установлена переставная губка 3. Губка 6 неподвижна. К корпусу прикреплена пневмокамера с пружиной 8. При перемещении диафрагмы и диска 7 вниз рычаг 5, поворачиваясь вокруг оси 4, перемещает ползун 2 с губкой 3 вправо и зажимает заготовку.

Переналадка приспособления на обработку другой детали этого же класса осуществляется перестановкой по рифлям ползуна губки 3.

Система универсально-сборных приспособлений (УСП) состоит из набора нормализованных деталей, из которых можно компоновать различные приспособления одноцелевого назначения, что полностью удовлетворяет условиям мелкосерийного производства, где срок службы приспособления относительно мал. В целях сокращения периода подготовки производства при освоении новых изделий УСП могут применять и в массовом производстве, но в дальнейшем они должны заменяться специальными приспособлениями. Отличительной особенностью УСП является то, что они полностью состоят из заранее изготовленных нормализованных и стандартных по всем параметрам деталей многократного использования. Проектирование такого приспособления не требует рабочих чертежей, сборка его осуществляется рабочим высокой квалификации по чертежу обрабатываемой заготовки или ее образцу, выполненному в металле. В особых случаях компо-

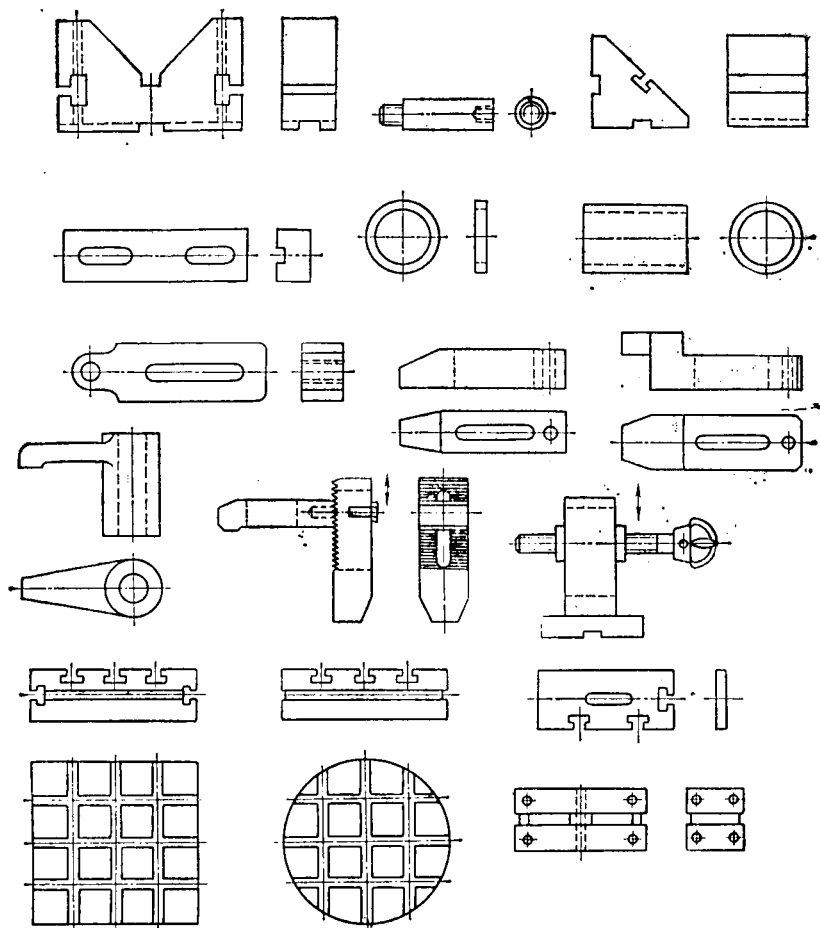


Рис. 90. Основные детали УСП

новки очень сложных приспособлений возникает необходимость разработки компоновочных схем и изготовления специальных деталей или элементов.

Ввиду того что сборка УСП осуществляется без пригонки, а требуемая точность высокая, все элементы должны изготавливаться с точностью не выше 6—7 квалитетов, что резко увеличивает первоначальную их стоимость. Свойство обратимости деталей и сборочных единиц, многократное их использование в системе УСП предъявляют повышенные требования к материалам, из которых они изготавливаются. В связи с этим в качестве материалов для деталей УСП используют высококачественные стали марок 12ХН3А, 38ХА, У8А, У10 с соответствующей термической обработкой, обеспечивающей высокую твердость и износостойкость.

В зависимости от объемов производства, номенклатуры и периода выпуска изделий на различных заводах комплекты элементов УСП могут состоять из 25—30 тыс. деталей и меньше (до 1,5—2,5 тысяч), что позволяет соответственно собрать до 300 приспособлений одновременно и до 400 приспособлений в год. Прогрессивным считается направление, предусматривающее организацию специальных межзаводских и межотраслевых прокатных баз по использованию комплектов деталей и сборочных единиц УСП.

Все детали УСП разделены на следующие группы: базовые—квадратные и прямоугольные плиты, планшайбы, угольники и др; корпусные и опорные — призмы, подкладки и др.; установочные — шпонки, пальцы, фиксирующие штыри, переходные втулки, установочные диски, центры и др.; направляющие — кондукторные втулки, кондукторные планки, колонки и др.; прижимные — прихваты различных типов; крепежные — винты, болты, гайки; неразборные — поворотные головки, фиксаторы, самоустанавливающиеся опоры, центровые бабки, пневмоцилиндры и др.; разные — рукоятки, эксцентрики, пружины и др.

Примеры основных деталей УСП показаны на рис. 90.

Базовые и корпусные детали покрыты сеткой шпоночных и Т-образных пазов. Первые из них предназначены для ориентирования деталей относительно друг друга, а вторые — для крепления в них других деталей с помощью болтов.

Размеры пазов у всех деталей комплекта одинаковы и бывают 8, 12 и 16 мм, что определяет стандартные комплекты УСП-8, УСП-12 и УСП-16. Первый из них чаще всего применяется в приборостроении, а последний — в тяжелом машиностроении. Время на сборку УСП обычно находится в пределах 2—6 часов. Для повышения точности и производительности обработки деталей с использованием УСП необходимо повышать их жесткость.

Годовые затраты на оснащение производства универсально-сборными приспособлениями могут быть рассчитаны по формуле

$$P = B_1 + \frac{B_2}{M_k} + B_3 g_1, \quad (128)$$

где B_1 — затраты на специальные детали, приходящиеся в среднем на одну компоновку в год, а также на употребляемые при сборке вспомогательные материалы и инструмент; B_2 — амортизационные отчисления за один комплект деталей УСП и оргтехнастку, а также годовая зарплата конструкторской группы УСП с начислениями и накладными расходами:

$$B_2 = A_k C_k + A_o C_o + Z_k (1 + 0,01 H_k);$$

A_k и A_o — соответственно нормы амортизации для комплекта деталей УСП и оргтехнастки; C_k и C_o — себестоимость соответственно заводского комплекта деталей УСП и оргтехнастки; Z_k — годовой фонд зарплаты конструкторской группы УСП; H_k — косвенные расходы конструкторской группы, % от зарплаты; B_3 — средние затраты

на однократную сборку и отладку на рабочем месте одной компоновки УСП с учетом накладных расходов;

$$B_3 = Z_{сб} t_{сб} (1 + 0,01 H_{сб});$$

$Z_{сб}$ — часовая зарплата сборщика компоновок; $t_{сб}$ — время сборки и отладки на рабочем месте, нормо-часы; $H_{сб}$ — косвенные расходы группы сборщиков; M_k — число неповторяющихся компоновок УСП, собираемых с течение года, включая требуемые дублиеры; g_1 — повторяемость сборок одной и той же компоновки в течение года, зависящая от числа партии компоновок, запускаемых в течение года, т. е. gN/n , N — годовая программа; n — средний размер партии.

4.17. Особенности требований к конструкции приспособлений переменного-поточных, групповых обработок и автоматизированного производства

Переменно-поточная обработка дает наибольшую эффективность при последовательной обработке деталей одного класса в относительно больших количествах. Исходя из этого, наряду с применением универсально-наладочных приспособлений для такой обработки целесообразно использование приспособлений комбинированного типа. Такие приспособления обычно разрабатывают для одинаковых по конструкции, но различных по размерам деталей, установка которых осуществляется без какой-либо смены установочных или зажимных элементов (рис. 91).

Комбинированные приспособления со сменными деталями используют для групповой обработки деталей разного типоразмера. С помощью такого кондуктора можно сверлить отверстия в кольцах разного диаметра, используя в первом случае разрезную шайбу 1 (рис. 92, а), а во втором — обычную разрезную шайбу 2 (рис. 92, б).

Особенность требований при разработке конструкции комбинированных приспособлений для переменного-поточной и групповой обработки заключается в тщательном подборе деталей по общности конструктивных и технологических признаков и разработке соответствующего технологического процесса их обработки. При качественно выполненной предварительной работе применение комбинированных приспособлений для указанных обработок обеспечивает лучшее использование оборудования во времени и снижение себестоимости деталей.

Особенно высокую экономическую эффективность обеспечивает применение механизированных и автоматизированных приспособлений, которые позволяют повысить производительность, выводить

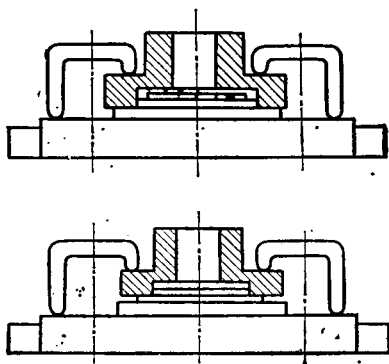


Рис. 91. Схема приспособления для переменного-поточной линии

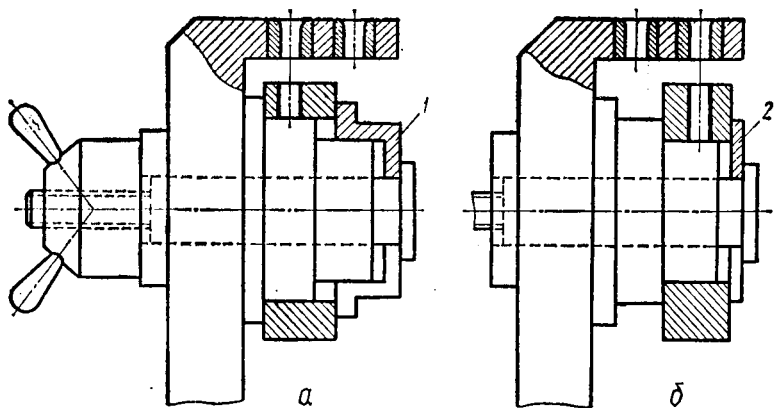


Рис. 92. Схема кондуктора для сверления в деталях двух типоразмеров

- значительное число рабочих и, что особенно важно, ликвидировать тяжелый физический труд.

Вот почему вопросы автоматизации приспособлений при их проектировании должны занимать ведущее место.

Автоматизация приспособлений может быть частичной и полной. Частичная автоматизация обычно охватывает работы по загрузке заготовок в рабочую зону приспособлений, базирование, закрепление и открепление заготовок, вращение, фиксацию и крепление поворотных (или передвижных) частей приспособлений, сьем и выталкивание заготовок после обработки, измерение деталей в процессе обработки, очистку от стружки и др. При полной автоматизации приспособлений предусматривается, чтобы все приемы работ, начиная от загрузки и базирования и кончая сьемом обработанных деталей, производились без участия рабочего.

Использование автоматизированных приспособлений позволяет решать не только частные вопросы в виде автоматизации отдельных рабочих приемов, но и центральную ее задачу — автоматизацию всего технологического процесса. В данном случае дешевые универсальные станки, оснащенные автоматизированными приспособлениями, превращаются в полуавтоматы или автоматы. Ряд таких станков с встроенными или приставленными управляющими и транспортирующими устройствами представляют в какой-то мере автоматическую линию.

Рассматривая вопрос автоматизации приспособлений, необходимо прежде всего определить, какой именно части или устройству необходима автоматизация. Очевидно, установочные элементы, а также корпусные, крепежные и другие вспомогательные устройства в автоматизации чаще всего вообще не нуждаются. Автоматизация приспособлений сводится обычно к автоматизации зажимных устройств и реже — направляющих режущего инструмента. Именно решение этого вопроса способствует повышению производительности труда и облегчает труд рабочего. Конструкция механизма автоматического зажима определяется типом оборудования, для которого проектируется приспособление, выбранными базовыми и зажимными поверхностями,

размерами заготовки и ее конструктивными особенностями. Автоматизации зажима заготовок для обработки или сборки в наибольшей мере отвечает использование различных механических, пневматических, гидравлических, электрических и комбинированных приводов. Наибольшее распространение на машиностроительных предприятиях получили пневматические приводы как наиболее экономичные, простые по конструкции, надежные в эксплуатации и наиболее гигиеничные при использовании на рабочих местах. Их использование приводит к сокращению, главным образом, вспомогательного времени, что очень важно в условиях поточно-автоматизированного производства. В тех случаях, когда на поточно-механизированных линиях требуется обеспечить большие зажимные усилия с постоянным давлением и надежностью зажимных устройств, следует применять пневмогидравлические приводы.

При проектировании автоматизированных приспособлений необходимо предусматривать полное исключение возможности неправильной установки заготовки. Это достигается применением специальных блокировочных, предохранительных и других устройств, останавливающих станок при неправильной установке заготовки.

На автоматических линиях используют стационарные приспособления и приспособления-спутники. Функции, выполняемые стационарными приспособлениями, мало чем отличаются от функций обычных приспособлений. В них подают, устанавливают, закрепляют, обрабатывают, открепляют и передают на транспортирующее устройство заготовки. Обычно используют одноместные однопозиционные приспособления, монтируемые на отдельных агрегатах автоматической линии. Особенностью этих приспособлений является то, что они должны обеспечивать правильную установку заготовок при простейших движениях транспортирующего устройства линии. Для обеспечения этого условия рекомендуются установочные элементы приспособлений в виде опорных пластинок выполнять как продолжение направляющих планок транспортирующего устройства, а установочные пальцы — выдвижными. Если установочные элементы неподвижны, то правильное положение заготовки должно осуществляться дополнительными прижимами-досылателями, обеспечивающими плотность контакта базовых поверхностей и установочных элементов приспособления.

Для предупреждения брака и аварий в приспособлениях необходимо предусматривать автоматический контроль правильности положения заготовки. Чаще всего для осуществления этого контроля используют пневматические, электрические и другие виды датчиков, проверяющих положение заготовки по ее базовым дополнительным поверхностям.

Корпусные и другие детали, обрабатываемые в приспособлениях автоматических линий, базируются обычно по плоскости и двум цилиндрическим отверстиям. В тех случаях, когда заготовка не имеет таких баз и ее обрабатывают в приспособлении-спутнике, то само приспособление-спутник базируют по плоскости и двум цилиндрическим отверстиям. При таком базировании выдвижные установочные элементы

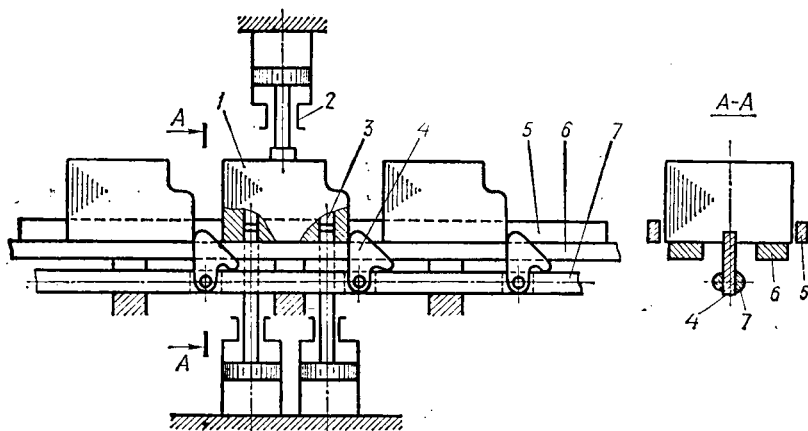


Рис. 93. Схема устройства для перемещения заготовки или приспособления спутника

и фиксаторы вызывают увеличение погрешности установки заготовки. Поэтому расчет на точность обработки для автоматизированного приспособления обязателен. Увеличение жесткости элементов автоматизированного приспособления и проверка величины силы зажима экспериментальным путем на стадии эскизной проработки способствуют уменьшению или исключению погрешности установки.

Для обработки сложных по форме заготовок используют приспособления-спутники, сопровождающие закрепленную в них заготовку по всем агрегатам и обеспечивающие ввод ее в стационарные приспособления автоматической линии. Приспособление-спутник в простейшем случае представляет собой плиту прямоугольной формы в плане, которая с закрепленной на ней заготовкой последовательно перемещается по всей линии при помощи шагового транспортера.

В начале линии на спутник устанавливают и закрепляют заготовку, в конце линии ее открепляют и снимают, а спутник возвращают в исходное положение. Количество спутников на линии должно превышать количество агрегатов, на которых производится обработка. На схеме приспособления (рис. 93) для перемещения, установки и закрепления корпусной заготовки или приспособления-спутника на автоматической линии показано, как заготовка 1 по планкам 5 и 6 перемещается влево шаговым конвейером 7 с собачками 4 на строго определенное расстояние. Штанга конвейера 7 проходит под приспособлениями. Окончательная фиксация заготовки происходит по двум базовым отверстиям выдвижными пальцами 3. Цилиндр 2 надежно фиксирует положение заготовки в спутнике. Для перемещения заготовки к следующему агрегату штанга конвейера перемещается вправо на один шаг, при этом собачки 4 поворачиваются и проходят под заготовками. После этого цикл повторяется. Особенно подробный расчет на точность должен осуществляться при проектировании приспособлений к станкам с программным управлением, обеспечивающим обработку деталей с высокой степенью точности. Так как обработка на станках с число-

вым программным управлением (ЧПУ) осуществляется при относительном перемещении заготовки и инструмента в системе заранее выбранных координат станка, то положение заготовки относительно системы координат установочных элементов должно быть точно определенным и увязанным с системой координат основной базы приспособления, совмещаемой с координатной системой станка.

Базирование приспособлений на станках с ЧПУ зависит от наличия в их столах центрального отверстия и поперечных пазов. При наличии пазов базирование осуществляется с помощью трех призматических или цилиндрических шпонок. Если в столе имеются паз и отверстие, то базирование приспособления осуществляется с помощью пальца и шпонки или двух пальцев.

При отсутствии пазов и отверстий для базирования приспособлений на столах станков с ЧПУ устанавливают и жестко закрепляют специальные накладные плиты с сеткой Т-образных пазов и координатными отверстиями.

Эффективность использования станков с ЧПУ резко возрастает при применении быстропереналаживаемых зажимных устройств и быстродействующих механизированных приводов. В зависимости от величины партии обрабатываемых заготовок на станках с ЧПУ могут применяться универсальные, универсально-сборные, специализированные и специальные приспособления. Наиболее широко применяют универсально-сборные приспособления двух систем: с Т-образными пазами; с отверстиями. Элементы УСП для станков с ЧПУ должны обладать большей жесткостью и точностью, чем обычные элементы УСП для универсальных станков. Специализированные приспособления используют для установки и закрепления групп заготовок, имеющих одинаковые базовые поверхности. В тех случаях, когда невозможно применить другие виды приспособлений для станков с ЧПУ, проектируют специальные приспособления.

§ 4.18. Контроль приспособлений

Станочные и сборочные приспособления, изготовленные согласно чертежу, перед сдачей их в эксплуатацию подвергаются тщательному контролю работниками контрольных служб цеха-изготовителя и заводской измерительной лаборатории.

Внешним осмотрам изготовленного приспособления оценивается в целом товарный вид и некоторые эргономические характеристики его. Строго по чертежу контролируется комплектность приспособления, правильность выполнения требований к основным его элементам и сопряжениям. При этом особое внимание уделяется плавности работы и легкости перемещений подвижных элементов, а в период опробывания в работе производится регулировка и доводка приспособления до нормативных требований.

Из всех характеристик изготовленного приспособления наиболее важной является точностная характеристика, показывающая, как изготовлено приспособление с точки зрения точности выполняемой им работы.

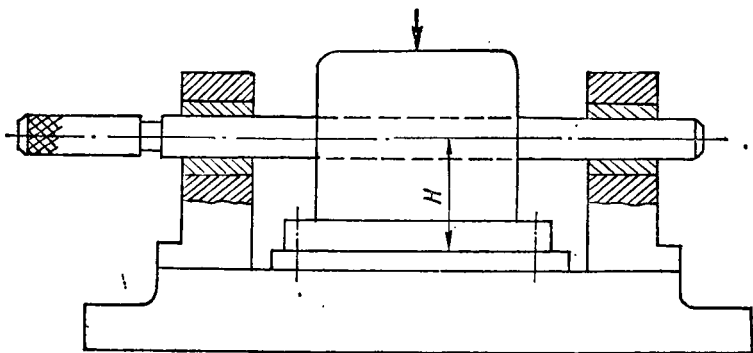


Рис. 94. Схема проверки расточного приспособления по эталонной детали

В заводских условиях контроль точности приспособления осуществляется следующими тремя способами: непосредственным измерением тех размеров, от которых зависит точность работы приспособления: пробной обработкой нескольких заготовок на точность изготовления из них деталей (или сборкой пробных узлов); использованием для контроля эталонных деталей.

Первый способ характеризуется большой трудоёмкостью, так как осуществляется с использованием универсальных измерительных средств и требует затраты большого количества времени высококвалифицированных контролеров. Второй способ более приемлемый в производственных условиях, так как в период его выполнения контролирующий приобретает и определенные навыки, хотя способ и связан с потерей нескольких пробных заготовок.

Третий способ заключается в проверке положения установленной в приспособлении эталонной детали относительно направляющих его элементов.

На рис. 94 показана примерная схема проверки размера у расточного приспособления. Вместо заготовки в приспособление устанавливают эталонную деталь, у которой проверяемый размер точно выдержан. Через направляющие втулки пропускают эталонную скалку. Если в изготовленном приспособлении расстояние от плоскости установочных элементов до оси кондукторных втулок не соответствует размеру H , то скалка не пройдет через эталон.

В период эксплуатации приспособления осматривают и проверяют на точность выполняемой работы. Характер такой проверки зависит от ряда производственных условий, но в основном от типа производства. Серийное производство позволяет периодически снимать приспособление со станка, сдавать его на склад и производить контроль на точность.

В массовом производстве приспособления приходится проверять на станке в перерывах между сменами. Результаты контрольных проверок приспособлений заносятся в специальную картотеку

и на основании их составляются планы профилактического и текущего ремонта приспособлений.

Изготовленные контрольные приспособления подвергаются полному метрологическому исследованию. Результаты измерений деталей в приспособлении сопоставляют с результатами измерения их универсальными инструментами. Погрешности измерения анализируют и определяют стабильность работы контрольного приспособления. На принятое контрольное приспособление составляют аттестат, инструкцию для пользования и карту периодической проверки. Проверку производят по специальной инструкции.

4.19. Методика конструирования специальных приспособлений

Разработка конструкции специального приспособления осуществляется технологом и конструктором, исходя из решения общей задачи по изготовлению требуемых деталей самым экономичным способом.

Работа обычно проводится в два этапа: проектирование приспособления; конструирование приспособления. На стадии проектирования производят выбор, технико-экономическое обоснование и расчет отдельных элементов приспособления, а на стадии конструирования из выбранных уже элементов разрабатывают общий вид приспособления и рабочие чертежи деталей. При этом учитывают ряд требований к приспособлению, а именно: приспособление должно обеспечить получение заданной точности и производительности; должно быть удобным в эксплуатации, облегчать труд рабочего и обеспечивать безопасность работы на нем; должно обладать хорошей ремонтноспособностью и надежностью в работе. С учетом изложенного технолог устанавливает маршрут обработки детали, выбирает технологические базы, на каждую операцию разрабатывает эскиз обработки, устанавливает режимы резания, определяет штучное время на операцию по элементам, производит выбор типа и модели станка.

Конструктор, имея чертеж заготовки, чертеж готовой детали и технические условия ее приемки, операционный чертеж заготовки на предшествующую и выполняемую операции, технологический процесс обработки данной детали, стандарты и нормалы на детали и сборочные единицы станочных приспособлений и другие справочные материалы, приступает к разработке необходимого приспособления.

Приспособление рекомендуется разрабатывать в определенной последовательности [31]:

- 1) исходя из схемы базирования обрабатываемой детали, точности и шероховатости базовых поверхностей, определяют тип и размер установочных элементов, их число, взаимное расположение и рассчитывают составляющие погрешности установки;

- 2) исходя из заданной производительности операции определяют тип приспособления (одно- или многоместное, одно- или многопозиционное);

- 3) по заданным режимам резания (силам резания) и выбранной схеме установки составляют схему действия сил на деталь, выбирают

точку приложения и направление силы зажима и рассчитывают ее величины. Рассчитывают погрешность закрепления;

4) по силе зажима, числу мест ее приложения выбирают тип зажимного механизма, рассчитывают его основные конструктивно-размерные параметры и величину необходимой исходной силы привода;

5) по силе тяги и регламентированному времени на закрепление и открепление детали выбирают тип силового привода и рассчитывают его размеры. По нормалам и ГОСТам выбирают их стандартные размеры;

6) устанавливают тип и размеры элементов для определения положения и направления режущего инструмента;

7) выбирают необходимые вспомогательные устройства, определяют их конструкцию, размеры, расположение;

8) разрабатывают общий вид приспособления и определяют точность его исполнительных размеров;

9) рассчитывают на прочность и износоустойчивость нагруженные и движущиеся элементы приспособления;

10) рассчитывают экономическую целесообразность разработанной конструкции приспособления.

Общий вид приспособления разрабатывают методом последовательного вычерчивания отдельных его элементов. Вначале на лист наносят контуры заготовки в трех (реже в двух) проекциях на достаточном расстоянии друг от друга с тем, чтобы поместились проекции приспособления. Заготовки вычерчивают условными линиями на той стадии обработки, когда она поступает на данную операцию. Штриховой линией указывают те поверхности, которые должны быть получены в результате обработки на данной операции.

Отдельные элементы приспособления наносят вокруг контуров заготовки в такой последовательности: элементы для направления инструмента — кондукторные втулки — вычерчивают на нужном расстоянии от детали и сразу же определяют необходимую толщину корпуса или кондукторной плиты в месте установки втулок; установочные элементы; зажимные механизмы и приводы; вспомогательные устройства и детали; корпус или его детали. Окончательное оформление чертежа приспособления заключается в проставке размеров, допусков, составлении спецификации приспособления и технических требований к сборке. Общий вид приспособления обычно вычерчивают в масштабе 1 : 1, здесь же проставляют его общие габаритные размеры и размеры, которые нужно выдержать при сборке и отладке.

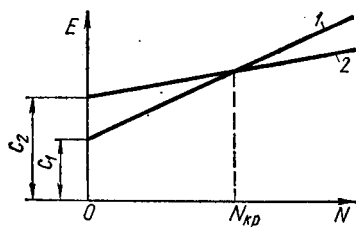
При детализировке необходимость в изготовлении рабочих чертежей на стандартные детали отпадает — они составляются только на оригинальные детали приспособления.

Экономическую оценку того или другого варианта проектируемого приспособления конструкцию проще и нагляднее производить путем сравнения годовой и технологической себестоимости операции. Причем в технологическую себестоимость включают только те элементы, величина которых зависит от применяемого приспособления. Если все элементы годовой технологической себестоимости операции условно разделить на расходы, величина которых зависит от объема выпуска

Рис. 95. График экономического сравнения вариантов приспособления

деталей, и расходы, величина которых зависит от конструкции приспособления, но не зависит от объема выпуска деталей, то можно написать

$$E = (3 + S_{эс} + A_c + S_{эл}) N + S_n + A_n + S_{эп}. \quad (129)$$



В уравнении (129) $3 + S_{эс} + A_c + S_{эл} = V$ — переменные расходы, зависящие от объема выпуска деталей (зарплата станочника 3 ; расходы на эксплуатацию станка $S_{эс}$; расходы на амортизацию станка A_c ; стоимость электроэнергии, расходуемой приводом станка на холостом ходу во время установки и снятия заготовки $S_{эл}$), и $S_n + A_n + S_{эп} = C$ — постоянные расходы (годовая стоимость наладки приспособления S_n ; расходы на амортизацию приспособления при трехлетнем сроке службы $A_n = 0,33S_{пр}$, где $S_{пр}$ — стоимость приспособления; расходы на эксплуатацию приспособления $S_{эп} = 0,27S_{пр}$).

Таким образом, годовую технологическую себестоимость операции можно записать

$$E = VN + C.$$

В таком виде ее легко представить графически в координатах EON , при этом переменные расходы будут характеризовать угол наклона прямой, а постоянные величины — отрезок на оси E (рис. 95).

При сравнении двух конструктивных вариантов приспособления получим уравнения:

$$E_1 = V_1 N + C_1 \text{ и } E_2 = V_2 N + C_2.$$

Пусть $V_1 > V_2$ и $C_1 < C_2$. Из графика видно, что при масштабе выпуска, меньшем $N_{кр}$, вариант 1 приспособления дает меньшую технологическую себестоимость, а при программе выпуска, большей $N_{кр}$ — выгоднее вариант 2. Оба варианта равноценны при программе выпуска, равной $N_{кр}$, т. е.

$$V_1 N_{кр} + C_1 = V_2 N_{кр} + C_2, \quad \text{отсюда} \\ N_{кр} = \frac{C_2 - C_1}{V_1 - V_2}. \quad (130)$$

Стоимость приспособления $S_{пр}$ приближенно подсчитывается по формуле

$$S_{пр} = C_{пр} N_{пр}, \quad (131)$$

где $N_{пр}$ — число деталей в приспособлении; $C_{пр}$ — зависит от сложности приспособления и его габаритных размеров. Для простых приспособлений $C_{пр}$ можно принять 1,5, средней сложности — 3,0, сложных — 4,0.

В целях ускорения подготовки производства в настоящее время широко используют ЭВМ как для технологической подготовки его, так и для автоматизированного конструирования приспособлений.

Раздел 4

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ И СБОРКИ МАШИН.

Глава 1

ОБРАБОТКА НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

1.1. Классификация деталей — тел вращения и виды их обработки

Детали, представляющие тела вращения, являются наиболее распространенными. Их условно можно разбить на три класса: валы; втулки; плоские детали вращения.

К классу *валов* относятся валы, валики, оси, пальцы, цапфы и т. п. Они образуются, в основном, наружной поверхностью вращения (цилиндрической или конической) и несколькими торцовыми поверхностями.

К классу *втулок* относятся втулки, вкладыши, гильзы, буксы и т. п. Эти детали характеризуются наличием внутренней цилиндрической поверхности — отверстия.

К классу *плоских деталей вращения* относятся шкивы, маховики, диски, кольца, фланцы и т. п. Характерной особенностью этих деталей является наличие больших торцовых поверхностей, так как длина (ширина) их значительно меньше диаметра.

Обработка наружных поверхностей тел вращения подразделяется на токарную и отделочную и выполняется, главным образом, при вращательном движении деталей и поступательном движении инструмента.

Токарная обработка деталей, имеющих форму тел вращения, обычно подразделяется на черновую обработку с точностью по 12—13-му качеству и шероховатостью поверхности $R_z = 80$ мкм, чистовую с точностью по 11-му качеству и шероховатостью поверхности до $R_a = 1,25$ мкм и чистовую точную и тонкую обработку с точностью по 7 качеству и шероховатостью поверхности до $R_a = 0,32$ мкм.

При черновой обработке снимается большая часть припуска, поэтому она происходит при большой глубине резания и большой подаче. В массовом и крупносерийном производстве черновую обработку целесообразно выносить на отдельные (от чистовой обработки) мощные станки.

Наряду с получением наружных поверхностей тел вращения обработкой на станках токарной группы можно производить операцию сверления, зенкерования, растачивания и развертывания отверстий, нарезание резьбы и т. п.

Отделочная обработка, выполняемая на специальных токарных или особых станках, предназначена для получения наружных поверх-

Рис. 96. Схемы обработки вала

ностей тел вращения высокой точности и незначительной шероховатости.

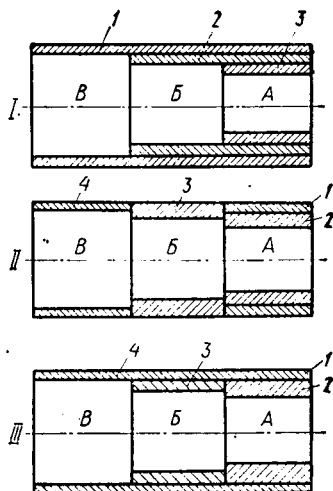
Основными конструктивными разновидностями деталей, имеющих форму тел вращения, являются валы.

В зависимости от размеров и массы валы условно делятся на: тяжелые — $\varnothing$ более 200 мм и массой больше 1 т; крупные — длиной более 1 м и $\varnothing$ до 200 мм; средние — длиной до 1 м и мелкие — длиной до 150—200 мм.

Как черновая или предварительная, так и чистовая или окончательная обработки валов могут производиться по различным схемам. Например, для черновой обработки вала из проката черных металлов применяют схемы, изображенные на рис. 96. При использовании первой схемы за каждый проход последовательно обтачиваются ступени А, Б, В. При использовании второй схемы ступень А обтачивается за два прохода (вследствие большого количества снимаемого металла), затем ступень Б за один проход и В за один проход. Третья схема называется комбинированной. При использовании предусматривает обтачивание ступени В за первый проход. Начиная с торца, первая ступень А обтачивается за второй проход и вторая ступень Б — за третий проход.

На выбор схемы обработки влияет величина припуска на отдельных ступенях вала и соотношение в размерах ступеней по диаметру и длине. Критерием для оценки выгодности той или иной схемы является время обработки. Схему обтачивания, которая обеспечивает наименьшее время обработки, называют рациональной схемой.

При чистовом обтачивании порядок обработки ступеней вала зависит также от заданных баз, допускаемой величины погрешностей в размерах отдельных ступеней, методов измерения длин. Например, если вал имеет две ступени со значительным перепадом диаметров и значительной длиной ступеней, то при выборе схемы обтачивания следует исходить из условий обеспечения минимального ослабления более тонкой части вала. Обтачивание назначается сначала на первую (с большим диаметром) ступень, а затем — на ступень с меньшим диаметром, т. е. концевую.



1.2. Технологичность конструкции и технические условия на обработку валов

Кроме общих требований технологичности к конструкции валов предъявляют некоторые специфические требования, основными из которых можно считать:

1) назначение минимальных перепадов диаметров ступеней у ступенчатых валов, что обеспечивает сокращение объема механической обработки и расхода металла, а при обтачивании на многорезцовых станках — упрощение наладки;

2) длины ступеней у ступенчатых валов следует назначать по возможности одинаковыми или кратными. Расположение ступеней должно быть по возрастающим или убывающим размерам диаметров. Такая конструкция ступенчатых валов позволяет производить одновременную обработку на многорезцовом станке большинства или всех поверхностей с затратой времени, равной времени обработки самой длинной ступени;

3) осевая фиксация сопряженных с валом деталей должна обеспечиваться не сплошным буртом, а пружинным кольцом, канавка под которое предусматривается конструкцией вала. Расход металла и объем механической обработки при такой конструкции вала минимальные;

4) на шлифуемых или резьбовых поверхностях валов предусматриваются специальные канавки для выхода режущего инструмента. Размеры этих канавок назначаются в зависимости от диаметра вала не более 0,5 мм по глубине и до 5 мм по ширине;

5) для тяжело нагруженных валов машин при переходе от одной ступени к другой следует предусматривать галтели;

6) торцы всех валов машин снабжаются фасками, величина которых назначается в зависимости от диаметра вала и других конструктивных особенностей.

Уровень современного машиностроения характеризуется в первую очередь показателями точности обработки, которые являются определяющими факторами таких характеристик, как надежность и долговечность.

Для обеспечения этих характеристик к точности обработки можно предъявить следующие основные требования:

1) диаметры посадочных шеек под подшипники качения обрабатываются по 5—6-му квалитетам с шероховатостью поверхности $R_a = 1,25 \div 0,32$ мкм, а под подшипники скольжения — по 9—11-му квалитетам с шероховатостью поверхности $R_a = 2,5 \div 1,25$ мкм;

2) овальность и конусность шеек валов должна находиться в пределах допусков на их размер;

3) центрирующие поверхности шлицевой части обрабатываются по 9—12-му квалитетам при шероховатости поверхности $R_z = 40 \div 5$ мкм. Отклонения от параллельности шлицев, а также шпоночных канавок от оси вала не должны превышать 0,1 мкм/мм длины;

4) допуски на длину ступеней должны находиться в пределах $0,05 \div 0,2$ мм, а на искривленность оси вала — $0,03 \div 0,05$ мм/м;

5) биение шеек валов под подшипники качения и центрирующих диаметров шлицевых поверхностей относительно друг друга допускается в пределах $0,04 \div 0,05$ мм, а относительно общей оси — не более $0,05 \div 0,08$ мм;

6) взаимное биение рабочих и нерабочих шеек валов машин не должно превышать $0,1 \div 0,2$ мм;

7) несопрягаемые поверхности обрабатываются по 14-му качеству с шероховатостью $R_z = 80 \div 10$ мкм.

1.3. Выбор заготовок, баз и оборудования для обработки валов

Материалом для изготовления валов машин обычно служат качественные углеродистые стали марок 40, 45, легированные 18ХГТ, 40Х и др., а также модифицированные и высокопрочные чугуны.

В зависимости от типа производства, конструкции и размеров валов машин в качестве заготовок используется прокат сплошного сечения, поковки, штамповки, специальные трубы и отливки.

Ввиду того что кривизна проката и поковок достигает в ряде случаев 5 мкм/мм длины, заготовки приходится подвергать операции правки. Правкой уменьшается величина кривизны до $0,5—1,0$ мкм/мм длины заготовки.

Технологическими базами подавляющего большинства валов являются поверхности опорных шеек. Однако использовать их в качестве технологических баз для обработки наружных поверхностей, как правило, затруднительно, особенно при условии сохранения единства баз, что очень важно при автоматизации технологического процесса. Поэтому для большинства операций за технологические базы принимают поверхности центровых отверстий с обоих торцов заготовки, что позволяет обрабатывать почти все наружные поверхности вала на единых базах с установкой его в центрах. В связи с этим механическую обработку валов начинают с операции подготовки технологических баз — подрезки торцов и их зацентровки.

В ряде случаев обязательным является сохранение после обработки центровых отверстий, необходимых для последующей центровки вала, проверки его на биение при ремонте машины. Отсюда вытекает необходимость тщательного выполнения центровых отверстий.

Основные требования, предъявляемые к центровым отверстиям: 1) соблюдение правильной формы и размеров; 2) соосность обоих центровых отверстий детали; 3) правильность расположения центровых отверстий относительно наружной цилиндрической поверхности заготовки, обеспечивающая равномерность припусков на обработку со всех сторон детали.

На автоматических линиях применяют в большинстве случаев станки А981 для фрезерования торцов, а А982 — для центрования. В зависимости от типа производства наружные поверхности ступенчатых валов обтачивают на универсально-токарных, токарно-копировальных, горизонтально-многорезцовых, многшпиндельных автоматах и других станках.

В настоящее время на заводах серийного выпуска продукции широкое распространение находит точение наружных поверхностей ступенчатых валов на токарных станках с копировальными устройствами

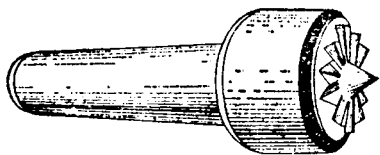


Рис. 97. Торцовый поводковый центр

и особенно с гидросуппортом КСТ-1, ГС-1, ГСП-41, УП-240, ГИЗ-1 и др.

В мелкосерийном производстве в целях более эффективного использования гидросуппортов целесообразно применять групповую обработку валов, т. е. обработку валов нескольких наименований, различающихся по своим размерам в пределах группы, с минимальной переналадкой и, в ряде случаев, с небольшой корректировкой лимбом гидросуппорта. Это сокращает время наладки на 80—85%. Достижимая точность обработки при помощи копировальных устройств находится в пределах 9-го квалитета.

При групповой обработке все детали, входящие в группу, рекомендуется обрабатывать в два этапа — предварительная обработка и окончательная. Предварительная обработка, включающая в себя операции зацентровки, торцовки и обдирки, осуществляется на специальных или универсальных станках токарной группы, обладающих большей жесткостью, а окончательная обработка — на токарных станках с гидросуппортом.

При обработке небольших валов с одной установки на проход по всей длине целесообразно применять специальные торцовые поводковые центры, в конструкции которых предусмотрены твердосплавные или закаленные зубья, обеспечивающие передачу крутящего момента обрабатываемому валу (рис. 97).

В серийном и крупносерийном производстве широкое распространение для черновой и чистовой обработки находят одношпиндельные многорезцовые полуавтоматы моделей 1721, 1731, 1Н713, 1А730 и токарные многошпиндельные вертикальные полуавтоматы моделей 1282, 1А283, а также токарные гидрокopировальные полуавтоматы моделей 1712, 1722К, 1732, МР-27, МР-29.

1.4. Обработка деталей — тел вращения на токарных многорезцовых станках

Токарные многорезцовые станки широко применяют в серийном и массовом производстве. Применение многорезцовых станков и многолезвийных комбинированных резцов повышает производительность труда за счет уменьшения основного времени обработки.

Многорезцовые станки обычно имеют передний с продольным рабочим движением и задний с поперечным рабочим движением суппорты. В станках с большими расстояниями между центрами устанавливается два продольных и поперечных суппорта. Передний суппорт предназначен для обтачивания в продольном направлении, а задний — для подрезки торцов, прорезки канавок, снятия фасок, обточки коротких конических, цилиндрических и фасонных поверхностей.

Многорезцовые станки являются полуавтоматами с различной степенью автоматизации, позволяющими обрабатывать детали диамет-

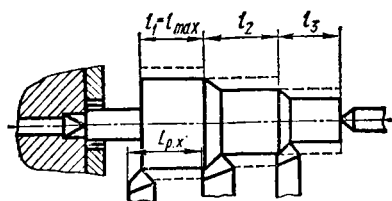


Рис. 98. Способ деления длины обработки вала

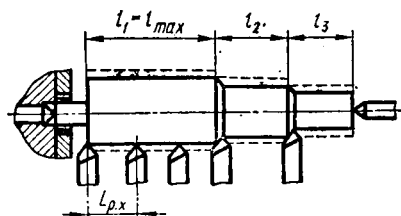


Рис. 99. Способ деления длины максимальной ступени вала

ром до 200 мм при длине от 300 до 1200 мм. Отдельные модели много-
резцовых станков позволяют обрабатывать детали диаметром 400 мм
и длиной до 3000 мм.

Существует три основных способа обработки валов на много-
резцовых станках: 1) способ деления длины обработки; 2) способ деления
максимальной длины ступени; 3) способ деления припуска.

Способ деления длины обработки применяется в тех случаях, ко-
гда длины ступеней вала примерно одинаковы (рис. 98). Длина рабо-
чего хода в этом случае $L_{р.х} = l_{\max}$ и основное время

$$t_{01} = \frac{l_{\max}}{nS}. \quad (132)$$

Если ступени вала имеют разную длину, то применяется способ деле-
ния максимальной ступени, суть которого заключается в установлении
нескольких резцов для обработки наиболее длинной ступени (рис. 99).

Длина рабочего хода суппорта в этом случае $L_{р.х} = \frac{l_{\max}}{m}$ и ос-
новное время

$$t_{02} = \frac{l_{\max}}{mnS},$$

где m — число резцов, установленных на наиболее длинной ступе-
ни; n — частота вращения шпинделя, мин; S — подача, мм/с.

Способ деления припуска (рис. 100) не в состоянии обеспечить
достаточно высокой производительности ввиду того, что длина рабо-
чего хода суппорта равна сумме длин всех обрабатываемых ступеней

$$L_{р.х} = l_1 + l_2 + l_3.$$

Применяется этот способ при больших
припусках на отдельных ступенях, когда
применение других способов невозможно,
и диаметры ступеней увеличиваются от кон-
ца к середине вала.

Если партия валов больше 10 штук,
то целесообразно применять многорезцовую

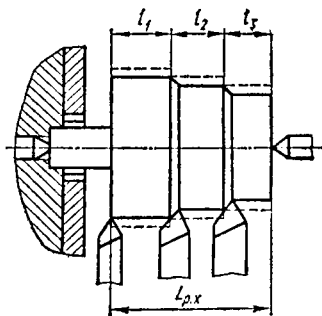


Рис. 100. Способ деления припуска при обработке валов

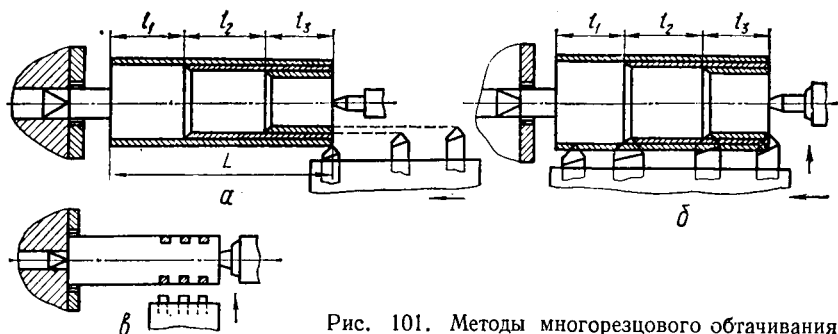


Рис. 101. Методы многорезцового обтачивания

обработку. Время настройки станка берется из расчета 5 мин на каждый резец плюс 10 мин к общему времени независимо от числа резцов.

Многорезцовое обтачивание может выполняться тремя различными методами:

1) обтачивание с продольной подачей, при котором каждый резец устанавливается на определенный диаметр и при продольном движении суппорта последовательно вступает в работу. Длины отдельных ступеней при обтачивании определяются взаимным расположением резцов (рис. 101, *a*);

2) обтачивание с врезанием и последующей продольной подачей, при котором резцы начинают обработку вала одновременно в различных точках. Перемещение суппорта вначале поперечное, затем — продольное. Каждая ступень обрабатывается одним или несколькими резцами. Необходимо стремиться к тому, чтобы длина пути каждого резца была равна длине наиболее короткой ступени (рис. 101, *б*);

3) обтачивание с поперечной подачей, при котором каждый резец обтачивает свою ступень путем поперечной подачи. В этом случае ширина каждого резца должна соответствовать ширине обтачиваемой ступени. Используется этот метод при обработке коротких конических, цилиндрических и фасонных валов (рис. 101, *в*).

На точность многорезцового обтачивания оказывает влияние погрешность взаимного положения резцов в наладке, неравномерный износ резцов из-за различных условий их работы, переменные отжатия элементов технологической системы вследствие разновременного вступления резцов в работу.

Многорезцовые станки могут быть использованы для черновой и чистовой обработки. Точность после черновой обработки получают 12-го, а после чистовой — 11-го качества. В отдельных случаях можно получить точность по 9-му качеству, но для этого надо пользоваться чистовыми «бреющими» резцами.

Обычно после чистовой обработки на многорезцовых станках дальнейшую обработку производят на шлифовальных станках.

1.5. Обработка поверхностей деталей — тел вращения на многошпиндельных полуавтоматах и автоматах

При обработке на многошпиндельных автоматах стремятся к максимальному совмещению переходов и к примерно одинаковой длительности обработки на всех позициях. Это достигается расчленением наиболее длительных переходов на ряд позиций с выбором соответствующей величины подачи, применением многоинструментальных наладок, комбинированных инструментов и т. д.

Проектирование многошпиндельных наладок для многошпиндельных полуавтоматов и автоматов состоит из следующих этапов: составление предварительного плана размещения инструментов по переходам и предварительный расчет режимов резания в соответствии с заданным тактом обработки; компоновка инструментов; составление схемы наладки, включающей план размещения инструментов и уточнение режимов резания и продолжительности наладки; конструирование оснастки.

При использовании многоинструментальных наладок на многошпиндельных и многопозиционных станках продолжительность обработки на всех позициях должна быть по возможности одинаковой и наименьшей.

Синхронизация по времени достигается путем уменьшения длины хода или соответствующего корректирования режимов резания отдельных инструментов. Переход, нарушающий синхронизацию работы, иногда целесообразно вынести в отдельную операцию.

Для многоинструментальных наладок следует принимать стойкость инструментов такой, которая требовала бы его замены не реже 1—2 раз в рабочую смену.

Чтобы обеспечить равномерную стойкость всех инструментов в наладке при значительной разнице в диаметрах обрабатываемых поверхностей, твердосплавные инструменты назначают только для обработки поверхностей больших диаметров, а для обработки поверхностей малых диаметров применяют инструменты из быстрорежущей стали Р-9, Р-18 и др.

Наряду с обычными режущими инструментами (резцы, зенкеры, сверла и т. д.) для автоматных работ применяют тангенциальные проходные, широкие и фасонные резцы.

В карте наладки станка записывается технологический процесс (план обработки) с эскизами обработки деталей по переходам или позициям с указанием инструментов в конечном рабочем положении; длины рабочего хода; типа и размера инструментов и зажимных устройств; режима резания.

1.6. Обработка наружных поверхностей деталей — тел вращения с применением гидрокопировальных устройств

Гидрокопировальная обработка может производиться на обычных универсальных станках, оснащенных специальным гидросуппортом, и на гидрокопировальных полуавтоматах.

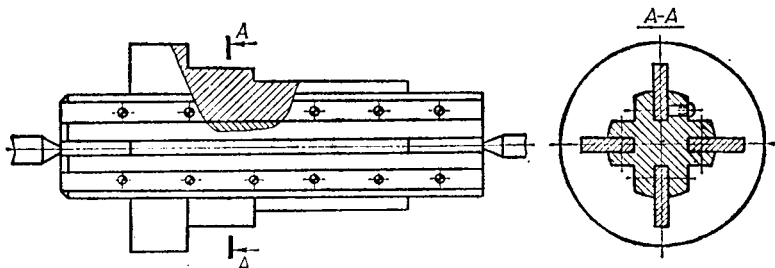


Рис. 102. Барабанный держатель копиров

Новейшие модели токарно-копировальных станков позволяют вести черновую обработку многорезцовым суппортом, а чистовое обрабатывание — однокорректным копировальным суппортом.

Обтачивание поверхностей деталей на гидрокопировальных полуавтоматах по производительности не ниже, а иногда и выше по сравнению с многорезцовой обработкой. Это объясняется большими затратами подготовительно-заключительного времени и времени технического обслуживания на многорезцовых станках. Кроме того, скорость резания на гидрокопировальных станках выше, чем на многорезцовых.

Исходя из этого, обтачивание на гидрокопировальных станках имеет ряд преимуществ перед многорезцовым обтачиванием: время на наладку и подналадку гидрокопировальных полуавтоматов из-за уменьшения количества резцов в наладке и простоты установки копира меньше, чем для многорезцовых в 2—3 раза и составляет для наладки средней сложности 30—35 мин; более высокая точность после чистовой обработки (обычно выдерживается допуск 0,05—0,06 мм); незначительное влияние на точность отжатий в упругой системе из-за малого числа одновременно работающих в наладке резцов; исключение неточностей, связанных с различным положением резцов и неравномерностью их износа.

Точность обработки с применением гидрокопировальных устройств зависит от точности изготовления копира и чувствительности системы. Обработка нескольких (обычно не более четырех) деталей или одной при различных проходах возможна при применении так называемых барабанных держателей, у которых 4 копира располагаются под углом 90° относительно друг друга (рис. 102). На копирах предусматриваются участки для захода и выхода щупа и резца длиной 15—20 мм.

Наиболее экономичной обработка валов машин с гидрокопировальным суппортом считается в том случае, если припуск заготовки по диаметру составляет 3—4 мм, а по длине уступов 1—1,5 мм, в других случаях требуется обдирочный проход. Копиры бывают плоские, цилиндрические и имеют форму первой детали из обработанной партии.

Круглые (цилиндрические) копиры изготавливают из стали 45 с последующей закалкой до твердости HRC 45—55 или из стали 20 с цементацией и закалкой до твердости HRC 45—55. Плоские копиры изготавливают из листовой стали этих же марок толщиной 4—6 мм.

Диаметральные размеры копира не обязательно должны соответ-

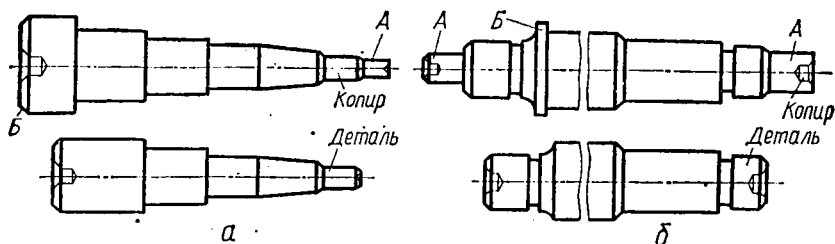


Рис. 103. Виды копиров:

а — копир и деталь с односторонней ступенчатостью; б — копир и деталь с двухсторонней ступенчатостью

вывать диаметрам обрабатываемой по нему детали: важно сохранить разность между наибольшим и наименьшим диаметром у детали, а следовательно, и у копира. Копиры деталей с односторонней ступенчатостью (т. е. когда диаметры ступеней возрастают от одного конца к другому) со стороны ступени меньшего диаметра имеют ступень А (участок) для захода шупа и резца (рис. 103, а). В начальный момент эта ступень исключает возможность врезания резца в задний центр. Если диаметр первой ступени детали меньше диаметра заднего центра, то эту ступень у копира делают конусной. Ступени А можно не делать в том случае, если использовать ограничители, т. е. упоры, ограничивающие перемещение суппорта станка в сторону задней бабки или перемещение копировальных салазок гидросуппорта по своим направляющим в сторону детали. На левом конце копира для обработки детали с односторонней ступенчатостью должна предусматриваться дополнительная ступень Б в виде бурта с диаметром несколько больше предыдущей ступени. Эта ступень необходима для отвода резца от обрабатываемой детали. Чтобы шейка наибольшего диаметра была обработана полностью, т. е. на всю длину, необходимо последнюю ступень на копире делать на 2—3 мм длиннее ступени детали. У деталей с двухсторонней ступенчатостью (т. е. когда диаметры ступеней уменьшаются к обоим концам детали) копир изготавливается также с двухсторонней ступенчатостью (рис. 103, б).

Если гидросуппорт располагается под углом 45° к оси станка, то практически на таком станке возможна обработка вала любого контура с возрастанием диаметра в направлении подачи, включая и обработку торцов. Для обработки валов с убывающими диаметрами в направлении подачи необходимо, чтобы на копире переход от большего диаметра к меньшему был выполнен с наклоном меньше $20\text{--}30^\circ$ в зависимости от величины перепада.

Экономичность токарной обработки при применении гидросуппортов определяется геометрической формой и количеством деталей в партии, а также требуемой точностью обработки. Однако производственные наблюдения показывают, что чем сложнее форма детали и чем больше на ней число обрабатываемых ступеней, тем целесообразнее применение гидросуппорта. Установлена определенная связь между числом ступеней вала и количеством деталей в партии. С ростом числа

цилиндрических ступеней на валу уменьшается величина оптимальной партии деталей для обработки на станке с гидросуппортом.

Последние модели некоторых токарно-копировальных станков имеют несколько (до пяти) суппортов, что позволяет вести независимую обработку на нескольких участках. Производительность в этом случае будет расти пропорционально числу одновременно работающих суппортов. Применение такого станка особенно целесообразно, когда на каких-либо ступенях вала имеется большой припуск, который невозможно снять за один проход.

1.7. Технология производства тяжелых валов

Тяжелыми условно принято считать валы, диаметр которых более 200 мм и масса более 1 т. Заготовки для таких валов обычно получают методом свободнойковки слитков на прессах и молотах большой мощности. Послековки заготовки подвергают отжигу для снятия внутренних напряжений. Некоторые конструкции тяжелых валов машин изготавливают комбинированным методом, т. е. из предварительно подготовленных элементов, соединенных электрошлаковой сваркой. В этом случае, наряду со значительной экономией металла, достигается большое снижение трудоемкости механической обработки.

Конструктивные разновидности тяжелых валов и технические условия для их изготовления те же, что и для обычных валов, однако, технология их механической обработки имеет некоторые особенности.

Первая особенность заключается в том, что заготовка подвергается разметке с целью проверки ее годности для обработки, получения риска для сверления центрального отверстия и выверки заготовок при установке на станке.

Токарная обработка выполняется в следующем порядке: 1) обточка шеек под люнеты, для осуществления которой один конец вала необходимо зажать в патроне, а другой, имеющий центровое отверстие, поджать центром задней бабки. Правильность установки заготовки проверяют по разметочным рискам; 2) обтачивание наружных поверхностей производится с креплением вала в патроне или планшайбе и установкой в люнет подготовленной уже специальной шейкой. Каждая новая установка в обязательном порядке должна сопровождаться выверкой на биения контрольных поясков, специально подготовленных для этой цели.

Токарная обработка тяжелых валов является относительно длинным во времени процессом, так как ей подлежат обычно длинные шейки при малых скоростях резания.

Значительная масса и неравномерность припусков по диаметру и длине шеек ковальной заготовки не позволяют при предварительной обработке тяжелых валов задаваться большой частотой вращения шпинделя. Эти особенности, т. е. длительность обработки и большая масса заготовок тяжелых валов, исключают возможность их обработки на центрах из-за значительного износа центровых отверстий.

Во многих конструкциях тяжелых валов предусматриваются внутренние отверстия, основным назначением которых является снижение

массы, размещение внутри вала штоков или других элементов управляющих или регулирующих устройств машин, элементов смазочной системы и обеспечения возможности взятия проб для исследования качества материала. Такие валы называются полыми и для их изготовления часто используются специальные толстостенные трубы. Если использовать такие трубы невозможно, то глубокое сверление отверстий производится после предварительной токарной обработки наружных поверхностей, т. е. когда уже имеются базы для выверки установки заготовки на станке.

При установке заготовки в четырехкулачковом патроне с поджимом задним центром выверка на биение производится со стороны патрона и устранение обнаруженного биения достигается перемещением кулачков патрона.

Отделочная обработка шеек валов зависит от их размеров, требований точности и может быть осуществлена шлифованием, тонким точением и обработкой давлением.

1.8. Получение конических и фасонных поверхностей деталей — тел вращения на токарных станках

Для обрабатываемых деталей невысокой точности при угле конуса меньше 20° можно использовать метод точения при поперечном смещении центра задней бабки (рис. 104, а).

Недостатки этого метода заключаются в сравнительно быстром износе центровых отверстий из-за неблагоприятного нагружения центров станка. Коническая поверхность при этом получается несоосной относительно других поверхностей деталей, а величина конусности

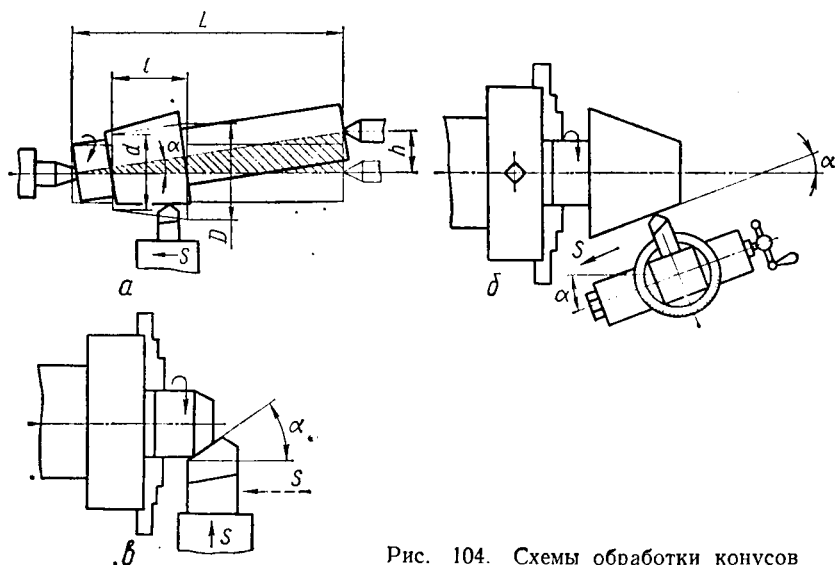


Рис. 104. Схемы обработки конусов

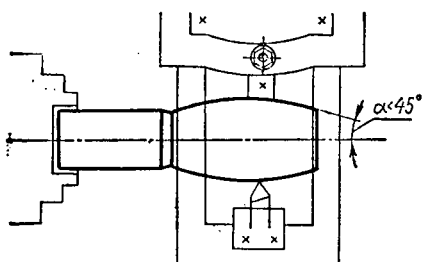


Рис. 105. Схемы применения копира при обработке фасонных поверхностей

ее изменяется в процессе обработки партии деталей из-за изменения глубины центровых отверстий.

Для обработки точных наружных и внутренних конусов относительно небольшой длины с любым углом при вершине можно использо-

зовать метод поворота верхних салазок суппорта на требуемый угол (рис. 104, б). Для обточки и расточки пологих конусов, а также для автоматической обработки сопрягаемых цилиндрической и конической поверхностей можно воспользоваться специальной конусной линейкой. Если образующая конуса детали составляет не больше 50—70 мм, то ее можно выполнить путем использования специального широкого резца (рис. 104, в). Если обрабатывается большое количество деталей с конусными поверхностями, то обточку конусов целесообразно производить на специальных станках, у которых возможно смещение передней и задней бабок, или методом одновременного включения продольной и поперечной подач суппорта станка.

Обработка фасонных поверхностей деталей-тел вращения может производиться двумя методами обтачивания: фасонными резцами и резцами, направляемыми по копиру.

Первый метод обычно используется в массовом производстве для обработки сравнительно коротких фасонных поверхностей шириной 50—70 мм. Обработка обычно ведется на подачах 0,01—0,05 мм/об. В целях сохранения более дорогих фасонных резцов и удлинения их срока службы за счет уменьшения удаляемых припусков рекомендуется заготовки предварительно обрабатывать простыми или черновыми фасонными резцами.

Чистовые фасонные резцы используют в том случае, если форма заготовки максимально приближена к форме фасонного резца. Увеличение ширины резца до 100 мм не рекомендуется из-за значительно-го роста усилий резания и связанной с ними неточности обработки.

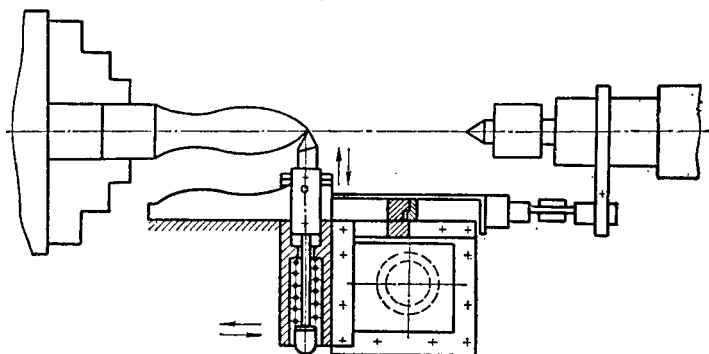


Рис. 106. Копир односторонний

Если обработке подлежат длинные фасонные поверхности, то в этом случае применяют специальные копирные устройства. Применение обычных копиров допустимо только для тех фасонных поверхностей, у которых угол наклона между осью изделия и касательной к кривой, которая должна быть получена при обработке, не превышает 45° (рис. 105). В противном случае возможна поломка копирного устройства или станка из-за значительного роста величины усилия подачи. Для обработки профиля с углом наклона касательной более 45° необходимо использовать односторонний копир. В конструкции копиров этой формы предусмотрен специальный ролик, прижимающийся на участках с большой кривизной к копиру пружинным устройством и имеющий движение в направлении радиальной составляющей силы резания (рис. 106).

При обработке шарообразных поверхностей копирные устройства заменяются простейшими механизмами рычажного типа.

Глава 2

ВИДЫ ЧИСТОВОЙ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ НАРУЖНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ (ВАЛОВ) И ДРУГИХ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Наибольшее распространение в машиностроении получили следующие виды чистовой отделочной обработки наружных цилиндрических поверхностей: тонкое (алмазное) точение; шлифование наружных цилиндрических поверхностей в центрах; бесцентровое шлифование; притирка; механическая доводка головками с абразивными брусками хонинг-процесс; механическая доводка абразивными колеблющимися брусками — суперфиниш; полирование, электрополирование и виброполирование; жидкостно-абразивная и дробеструйная обработка; отделочная обработка давлением (обкатка).

2.1. Тонкое (алмазное) точение

Тонкое точение чаще всего используется при обработке деталей из цветных сплавов (бронзы, латуни, алюминиевых сплавов и др.), чугуна и некоторых марок специальных сталей. Необходимость в его применении возникла из-за невозможности производить эффективное шлифование вследствие быстрого засаливания шлифовального круга.

Тонкое точение производится на специальных станках с большой частотой вращения шпинделя (2000—8000 об/мин), в связи с чем ставятся особые требования в отношении точности, жесткости, вибраций и устойчивости станка, а также зазора в подшипниках шпинделя.

В качестве инструмента при тонком точении используются алмазные резцы или успешно их заменяющие резцы, оснащенные пластинками твердого сплава (как более дешевые). Несмотря на замену, метод сохранил свое название (алмазный), так как сохранены режимы обработки, а именно: высокие скорости резания при малой подаче и малой глубине резания. Обычно скорости резания при тонком точении

находятся в пределах от 100 до 1000 м/мин и даже выше. Большие скорости назначаются для менее вязких сплавов цветных металлов, а меньшие — для мягких и вязких. Например, при точении бронзы скорость назначается 200—300 м/мин, а для алюминия — свыше 1000 м/мин при подаче 0,03—0,1 мм/об и глубине резания 0,05—0,15 мм.

Точность обработки тонким точением зависит от материала и выбранного режима обработки, и при оптимальных значениях можно достичь 6-го качества точности с шероховатостью поверхности $R_a = 0,32 \div 0,16$ мкм.

Качество обработанной тонким точением поверхности значительно выше качества шлифованной поверхности за счет того, что поверхность не подвергалась большим радиальным давлениям и высокому нагреву, неизбежным при шлифовании. Структура поверхностного слоя после тонкого точения гораздо лучше, чем после шлифования, что способствует повышению износостойкости и усталостной прочности деталей. Высота образуемых выступов неровностей незначительная и, что самое главное, они равномерно располагаются по поверхности. Это обеспечивает удобство для дальнейшей обработки с использованием более тонкой отделочной операции (доводки, хонингования, суперфиниша).

2.2. Шлифование наружных поверхностей деталей — тел вращения

Шлифование является основным методом чистовой отделки наружных поверхностей вращения и производится на круглошлифовальных, универсально- и бесцентрово-шлифовальных станках.

Обработке шлифовальным кругом, как правило, предшествует лезвийная обработка поверхностей вращения. Однако современные прогрессивные способы получения заготовок позволяют применять шлифование как окончательную обработку без предварительной лезвийной обработки. Особенно широко шлифование применяется для непосредственного получения окончательных размеров и требуемой шероховатости детали из литых и штампованных заготовок, т. е. там, где, применяя прогрессивные методы изготовления заготовок, можно получить минимальные припуски.

По виду шлифование поверхностей вращения делится на: обдирочное; точное шлифование, которое может быть предварительным и чистовым; тонкое. *Обдирочное шлифование* очень часто применяется взамен обработки заготовок лезвийным инструментом.

Точное шлифование в машиностроении получило наибольшее распространение, так как здесь обеспечивается точность по 6-му качеству с шероховатостью поверхности $R_a = 1,25 \div 0,32$ мкм.

Реже применяется *тонкое шлифование*, обеспечивающее обработку по 5-му качеству точности и шероховатость поверхности $R_a = 0,16 \div 0,08$ мкм.

Для осуществления тонкого шлифования необходимы: мягкий мелкозернистый круг; большая скорость (до 40 м/с) вращения круга; малая скорость вращения (до 10 м/мин) детали; малая глубина резания (0,005 мм); усиленное охлаждение обрабатываемой детали; дополни-

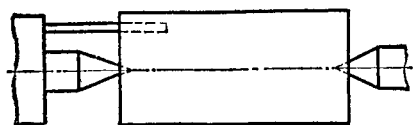


Рис. 107. Поводковый палец

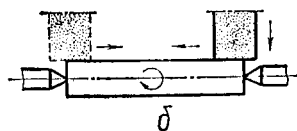
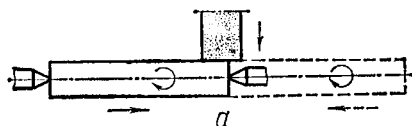


Рис. 108. Шлифование с продольной подачей:
а — с перемещением заготовки; б — с перемещением инструмента

тельные проходы без поперечной подачи (выхаживание) до прекращения появления искр.

Обрабатываемые шлифованием детали могут устанавливаться в центрах шлифовальных станков, цангах, патронах и специальных приспособлениях. Для повышения точности шлифования поверхностей вращения необходимо следить за состоянием и надлежащей смазкой центровых отверстий, износом лепестков и кулачков в цангах и патронах, постоянством усилия зажатия и использованием специальных люнетов.

Крутящий момент шлифуемой детали при установке ее в центрах передается с помощью поводкового хомутика или специального поводкового пальца, входящего в просверленное в детали отверстие (рис. 107). В первом случае требуется перестановка детали при шлифовании по всей поверхности, а во втором — не требуется.

Скорость вращения детали при шлифовании зависит от ее диаметра и находится в пределах 10—50 м/мин. Скорость вращения шлифовального круга зависит от качества (прочности) его и обычно находится в пределах 30—50 м/с.

Установленную в центрах или патроне деталь можно обработать следующими методами круглого шлифования: с продольной подачей; глубинным методом; с поперечной подачей (метод врезания).

При первом методе в процессе шлифования круг или обрабатываемая деталь совершает продольные движения попеременно в обе стороны (рис. 108, а, б). По окончании каждого хода детали или круга последний перемещается в поперечном направлении на величину подачи.

Продольная подача зависит от вида шлифования и обычно принимается на один оборот детали равной 0,5—0,8 В при предварительном

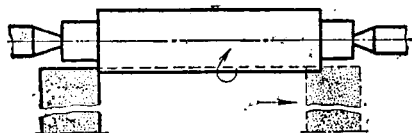


Рис. 109. Схема шлифования глубинным методом

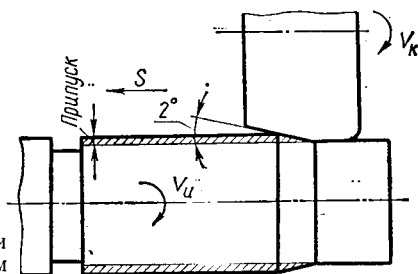


Рис. 110. Схема износа рабочей поверхности круга при шлифовании глубинным методом

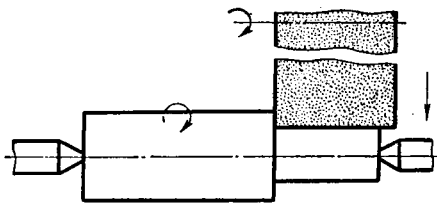


Рис. 111. Схема шлифования поперечной подачей

и 0,2—0,5 B при окончательном шлифовании (B — ширина круга).

Поперечная подача принимается 0,005—0,02 мм на каждый проход. Метод шлифования с продольной

подачей находит широкое применение для шлифования гладких длинных валов.

При шлифовании глубинным методом предусматривается установка шлифовального круга на полную глубину снимаемого слоя металла, обычно принимаемую равной припуску на шлифование (рис. 109). Установленному таким образом кругу задается небольшая продольная подача вдоль оси обрабатываемого вала. После прохода на всю длину обрабатываемого вала шлифовальный круг возвращается в исходное положение.

При этом методе шлифования передняя кромка круга изнашивается очень быстро и в результате на цилиндрической его части получается скос. Снятие слоя металла, в основном, производится скошенной частью круга, а оставшая цилиндрическая часть производит зачистку шлифуемой поверхности (рис. 110). Этот метод получил наибольшее применение при обработке чугунных и бронзовых втулок, коротких жестких валиков при изготовлении деталей измерительных инструментов.

Шлифование поперечной подачей (метод врезания) производится по всей длине детали (рис. 111), причем ширина круга несколько больше длины шлифуемой детали или отдельной ее поверхности (шейки).

Поперечная подача круга в направлении центральной линии вращающейся детали осуществляется периодически через 2—3 оборота ее и составляет 0,001—0,01 мм. Этот метод позволяет шлифовать фасонные поверхности деталей, для чего необходимо использовать соответственно запрограммированный фасонный круг. Производительность такого шлифования высокая, поэтому оно широко применяется в массовом и крупносерийном производстве. Ширина круга берется на 10—15 мм больше ширины шлифуемой шейки. При шлифовании деталей без буртов с использованием метода врезания рекомендуется сообщать кругу и детали небольшие колебательные продольные движения. Это способствует сохранению формы рабочей поверхности круга и улучшению процесса шлифования.

2.3. Бесцентровое шлифование

При этом методе шлифования деталь не закрепляется в центрах, как на круглошлифовальных станках, а помещается без всякого крепления между двумя шлифовальными кругами (рис. 112). Круг большего диаметра 1 является шлифующим или рабочим, а меньшего 3 — ведущим или подающим, который вращает деталь и сообщает ей продоль-

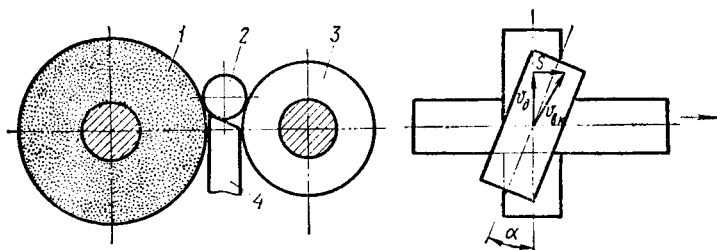


Рис. 112. Схема бесцентрового шлифования

ное перемещение. Окружная скорость шлифовального круга в пределах 30—35 м/с, а ведущего — значительно меньше.

Шлифуемая деталь 2 устанавливается между кругами на специальную поддерживающую стойку 4 со скосом (нож), изготовленную из износостойкого металла. Благодаря скосу, направленному в сторону ведущего круга, деталь прижимается к нему, что улучшает условия передачи крутящегося момента ведущим кругом детали.

Обеспечению цилиндрической формы шлифуемых поверхностей способствует смещение центра детали от линии центров шлифовального и ведущего кругов на высоту 10—15 мм (в противном случае возможна огранка).

Бесцентровое шлифование можно разделить на три вида: сквозное; до упора; врезное.

При первых двух видах шлифование осуществляется с продольной подачей изделия, а при третьем применяется только поперечная подача, которую получает шлифующий круг.

Гладкие цилиндрические детали в виде валиков, гильз, гладких втулок, поршневых пальцев и т. д. шлифуют сквозным бесцентровым шлифованием. Для осуществления сквозной подачи ведущий круг устанавливается под углом $\alpha = 1 \div 5^\circ$ к оси шлифующего круга. Благодаря этому наклону, ведущий круг посредством силы трения сообщает детали движение продольной подачи, определяемой по формуле

$$S = 1000V_{в.к} \sin \alpha \cdot \eta_s, \quad (133)$$

а окружная скорость вращения детали при этом будет

$$V_d = V_{в.к} \cos \alpha (1 + \varepsilon), \quad (134)$$

где S — движение продольной подачи, мм/мин; V_d — окружная скорость вращения детали, м/мин; $V_{в.к}$ — окружная скорость ведущего круга, м/мин; η_s — коэффициент осевого проскальзывания, который находится в пределах 0,90—0,98; ε — коэффициент, учитывающий ускоренное вращение изделия за счет скорости шлифующего круга ($\varepsilon = 0,04 \div 0,07$).

Величина скорости продольной подачи S при сквозном бесцентровом шлифовании находится в пределах 400—4000 мм/мин. Окружная скорость вращения ведущего круга $V_{в.к}$ зависит, главным образом, от глубины резания, поэтому ее значение при черновом шлифовании находится в пределах 15—30 м/мин, а при чистовом возрастает до 100 м/мин и выше.

Окружная скорость шлифующего круга находится в пределах 30—35 м/с. Отсюда можно заключить, что фактически вращение деталь получает не от ведущего, а от шлифующего круга. Роль ведущего круга сводится к торможению вращательного движения, сообщаемого детали шлифующим кругом. С этой ролью он успешно справляется, так как изготовлен на вулканитовой связке, значение коэффициента трения которой выше чем у шлифующего круга, изготовленного на керамической связке. Однако та особенность, что коэффициент трения ведущего круга достигает своего максимума только при скоростях вращения его порядка 60—70 м/мин, а при дальнейшем резком ее возрастании значительно снижается, дает возможность шлифующему кругу ускорять вращение детали по сравнению с вращением, сообщаемым ей ведущим кругом, на 4—7%.

Режимы резания при бесцентровом шлифовании отличаются сравнительно большими глубинами резания (до 0,4 мм и выше в зависимости от диаметра детали) и малым количеством проходов.

В целях уменьшения шероховатости обработки очень часто применяют два шлифовальных круга нормальной ширины (150—200 мм), установленных на некотором расстоянии друг от друга. Круги, как правило, берутся с различной зернистостью; на снятие припуска более грубый (крупнозернистый) и на выхаживание — мелкозернистый.

На более жестких станках возможно использование наборного круга шириной, достигающей 800 мм. Шлифование таким кругом за один проход обеспечивает обработку по 7—8-му квалитетам точности и шероховатости поверхности $R_a = 0,32 \div 0,16$ мкм. Если шлифуемая деталь имеет на конце головку большего диаметра, бурт или уступ, то сквозное шлифование невозможно. В этих случаях используется бесцентровое шлифование с продольной подачей до упора. Характерной особенностью такого шлифования является использование значительно меньших продольных подач за счет небольшого ($\alpha = 0,5^\circ$) угла наклона ведущего круга к оси шлифующего круга и устройства, позволяющего осуществить быстрое раздвижение кругов у бурта или упора шлифуемой детали или ее заготовки.

При обработке деталей с разобшенными цилиндрическими поверхностями по длине и с буртиками типа ступенчатых валиков, толкателей и т. п., а также конических фасонных поверхностей тел вращения применяется врезное бесцентровое шлифование. Это шлифование осуществляется за счет поперечной подачи ведущего круга по направлению к шлифующему кругу. В отличие от предыдущих видов бесцентрового шлифования оси ведущего и шлифующего кругов устанавливаются не под углом, а параллельно. Подача ведущего круга обычно принимается в пределах $S_{в.к} = 0,003 \div 0,02$ мм/об.

При шлифовании конических поверхностей тел вращения необходимо ведущий круг заправить на соответствующий угол конуса и поддерживающий нож установить под определенным углом (наклонно).

При шлифовании фасонных поверхностей как ведущий, так и шлифующий круги, а также поддерживающий нож заправляются по профилю обрабатываемой фасонной поверхности.

Бесцентровое шлифование обладает рядом положительных и отрицательных сторон. К положительным относятся: жесткость технологической системы при бесцентровом шлифовании в 1,5—2 раза выше жесткости системы при круглом шлифовании, что дает возможность соответственно повысить режимы резания, а также облегчить задачу обработки нежестких валов; высокая производительность шлифования как за счет повышенных режимов резания, так и за счет возможности полной автоматизации процесса; отпадает необходимость в операции центрования и ликвидируются связанные с ней потери времени и ошибки, требующие обычно для компенсации дополнительной величины припуска; нет необходимости применять люнеты при шлифовании длинных валов; простое обслуживание станков, не требующее высокой квалификации рабочего.

К отрицательным сторонам можно отнести: невозможность получить точную concentричность наружных цилиндрических поверхностей деталей; определенная трудность в достижении соосности ступеней ступенчатых валов; значительная затрата времени на настройку бесцентровых шлифовальных станков, особенно при шлифовании ступенчатых валов, что оправдывает себя только в крупносерийном и массовом производстве.

2.4. Хонингование или механическая доводка абразивными брусками

Высокая точность и удовлетворительная шероховатость наружных поверхностей деталей — тел вращения машин достигается шлифованием, поэтому необходимость в доводке абразивными брусками отпадает. Однако в тех случаях, когда техпроцессом предусмотрена операция хонингования, то она выполняется на специальных станках, снабженных приспособлением с двумя полуподшипниками, с внутренней стороны которых закреплено от четырех до шести шлифовальных брусков.

Обрабатываемая деталь охватывается двумя полуподшипниками при помощи шарнирных рычагов и после этого ей сообщается одновременное вращательное и прямолинейное поступательно-возвратное движение (рис. 113).

Процесс хонингования длится 2—3 мин. После этого станок автоматически отключается и деталь освобождается. Доводка осуществляется с подачей на место обработки керосина. Скорость резания при хонинговании колеблется от 60 до 200 м/мин, а давление абразивных брусков — от 0,30 до 1,35 МПа. При таких условиях в процессе обработки происходит нагрев детали до температуры 50—150° С. Поверхность в результате хонингования получается сетчатой. Причина этого — наличие в процессе только двух движений.

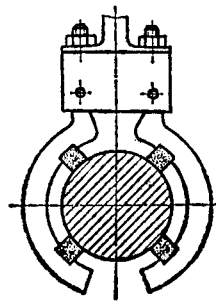


Рис. 113. Схема хонингования цилиндрических поверхностей

2.5. Суперфиниш или механическая доводка абразивными колеблющимися брусками

Внешне процесс похож на хонингование, так как и в этом случае в качестве обрабатывающего инструмента применяются абразивные бруски.

Отличие суперфиниша от хонингования заключается в том, что при суперфинише осуществляется обычно три и более движений. Наряду с вращательным и продольным движениями имеется еще и колебательное, которое считается главным рабочим движением.

Колебательное движение направлено вдоль бруска и осуществляется за счет малого хода брусков (2—6 мм) и большого количества двойных ходов (1000). При этом методе реализуется так называемый принцип неповторяемости следа, т. е. каждое отдельное зерно бруска не повторяет своего первоначального пути по обрабатываемой поверхности и таким образом исключается возможность оставления на обработанной поверхности углубленных следов — рисок. Этому способствуют определенные соотношения между числом двойных ходов брусков, частотой вращения детали и продольной подачей брусков вдоль оси детали.

При суперфинише бруски прижимаются к детали пружиной (рис. 114). Для этого необходимо обеспечить удельное давление не больше 0,098—0,245 МПа. Скорость резания при суперфинише значительно меньше, чем при хонинговании.

Значительное влияние на обработку при суперфинише оказывает смазывающая жидкость, в качестве которой используется обычно смесь масла с керосином в соотношении 1 : 10.

В начале процесса, когда микронеровности резко выступают, они разрывают масляную пленку. В конце обработки, когда микронеровности сглаживаются, масляная пленка становится сплошной и воспринимает на себя нагрузку от абразивных брусков. В этот момент зерна абразива перестают соприкасаться с обрабатываемой поверхностью и процесс резания прекращается.

Смазывающая жидкость должна быть особенно чистой без металлических и абразивных частичек, так как на поверхности детали могут появиться царапины. Поверхности после обработки получается очень чистой ($R_z = 0,05$ мкм) и зависит от зернистости абразивов.

Суперфинишу предшествует операция шлифования, тонкого точения или другая операция, обеспечивающая шероховатость поверхности не больше $R_a = 0,32$ мкм. Как правило, головки суперфиниша

имеют не жесткое крепление, поэтому процесс не влияет на макрогеометрию поверхности, т. е. дефекты формы и размеров, полученные на предыдущих операциях, не исправляются.

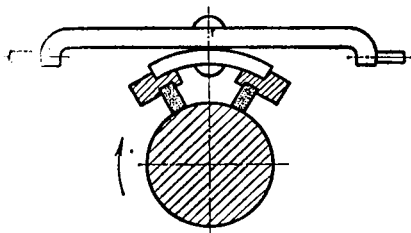


Рис. 114. Доводка цилиндрических поверхностей колеблющимися брусками

Достоинством суперфиниша является то, что обрабатываемые поверхности не нагреваются до высоких температур, следовательно, поверхностные слои металла не претерпевают температурных изменений и в сочетании с низкой шероховатостью поверхности обеспечивают повышение износостойкости деталей.

2.6. Притирка (доводка, лапинг-процесс)

В машиностроении притирка находит применение при изготовлении деталей воздухораспределительных устройств, пневматических бурильных машин и др. Точность обработки достигает 5-го качества, а шероховатость поверхности $R_z = 0,63 \div 0,05$ мкм.

Притирка как отделочная операция применяется для обработки предварительно отшлифованных наружных цилиндрических поверхностей. Выполняется она инструментом, который называется притиром. Притир изготавливается обычно из чугуна или бронзы, и на его поверхность наносится суспензия или абразивный микропорошок (величина зерна от 3 до 20 мкм) с машинным маслом.

Относительное перемещение детали и инструмента (притира) должно быть таким, чтобы абразивное зерно с каждым ходом двигалось по новой траектории. Этому условию в наибольшей степени соответствуют применяемые в настоящее время механические и полумеханические притирки. Последняя отличается тем, что обрабатываемая деталь получает вращение от шпинделя станка, а возвратно-поступательное движение осуществляется вручную. Обрабатываемая деталь практически мало нагревается, поэтому структура поверхностного слоя получается высококачественной.

Притиры могут иметь различную форму, определяемую, как правило, конфигурацией обрабатываемой детали, геометрической формой притираемой поверхности и конструктивным исполнением станка для притирки.

Притирка как процесс тонкой механической обработки поверхностей условно делится на предварительную и окончательную. Для предварительной обработки притиры подбираются из мягких материалов (красная медь, свинец и другие сплавы), хорошо удерживающих крупные абразивные зерна № 80—120.

Для окончательной притирки материалом притира в большинстве случаев является перлитный чугун, хорошо удерживающий мелкозернистый абразив № 140—230.

Притиры бывают шаржированные и нешаржированные. Под шаржированием понимают внедрение в поверхность притира абразивных зерен из алмазной пыли, карборунда, электрокорунда, карбидов бора. Правильно шаржированный притир имеет однообразную матовую поверхность. Наличие блестящих пятен на поверхности притира указывает на неравномерность шаржирования.

Карборундовые зерна обладают очень высокими режущими свойствами и значительной хрупкостью. Чаще всего их применяют при обработке цветных металлов.

Электрокорундовые зерна очень прочные, хотя по режущим свойствам стоят ниже корундовых. Применяются электрокорундовые притиры для обработки высокопрочных сталей.

Твердосплавные инструменты обрабатываются (доводятся) с помощью карбида бора.

Алмазная пыль — самый хороший материал для притирки как по прочности, так и по режущим свойствам, однако стоимость его высокая. Поэтому она применяется при доводке алмазного и твердосплавного инструмента, а также деталей повышенной точности.

Притирка свободным не шаржирующимся абразивом принципиально отличается от предыдущих по методу применения. Это выражается прежде всего в том, что абразив не наносится на поверхность притира, а находится между притиром и обрабатываемым материалом. Вследствие того, что твердость нешаржирующихся зерен ниже твердости притира и обрабатываемого материала, истиранию подвергаются только выступающие гребешки на обрабатываемой поверхности. Износ самого притира будет незначительным по сравнению с износом обрабатываемой поверхности.

В качестве абразивов чаще всего применяют окись хрома (Cr_2O_3), окись железа (Fe_2O_3) или крокус и венскую известь. По твердости, режущим свойствам и производительности окись хрома стоит на первом месте, однако, наиболее чистую поверхность обеспечивает венская известь (углекислый кальций с примесью магнезия и железа). Сами притиры обычно изготавливаются из стали с последующей закалкой или твердым покрытием поверхности в виде хромирования. Для случая очень тонкой притирки применяют притиры из стекла.

Чтобы абразивный порошок прилипал к притиру и для улучшения процесса притирки используют различные смазочные материалы. Выбор их зависит от материала обрабатываемых поверхностей и требуемого качества поверхности. Так, например, при обработке стали и чугуна в качестве смазывающего материала используют смесь машинного масла с керосином. Для получения более чистой поверхности используется венская известь со спиртом или крокус с вазелином. Для обработки легких сплавов употребляют деревянное масло.

В настоящее время для доводочных работ очень широко используются пасты ГОИ (по имени автора — Государственного оптического института). В своем составе эти пасты содержат термически обработанную (прокаленную) окись хрома, жиры и органические кислоты (олеиновую или стеариновую). Наличие органических кислот в пасте придает ей поверхностную активность, проявляющуюся в образовании окисленной поверхностной пленки.

Пасты ГОИ делятся на грубые 40 мкм, средние 16 мкм, тонкие 7 мкм. Цифра указывает толщину снятого слоя со стальной термически обработанной (закаленной) плитки при 100 возвратно-поступательных движениях ее относительно притира. Пастами можно обрабатывать не только закаленные поверхности, но и термически необработанные стали, так как прокаленная окись хрома не вдавлируется в поверхности притира и обрабатываемой детали.

Поверхностно-активные пасты выпускаются промышленностью в виде палочек, растворителем которых является керосин.

Производительность притирки с применением паст ГОИ значительно выше по сравнению с обычными абразивами.

Притирка наружных цилиндрических поверхностей деталей машин может осуществляться на универсальных токарных станках с использованием специальных приспособлений или на специальных притирочных станках. Скорости притирки зависят от требуемой шероховатости и точности и находятся в пределах от 15 до 40 м/мин. Меньшие значения скорости обеспечивают лучшее качество и точность обрабатываемой поверхности.

Притирке обычно подвергаются детали точностью не ниже 6-го качества и с шероховатостью поверхности не больше $R_a = 1,25 \div 0,32$ мкм, предварительно обработанные тонким точением, развешиванием или шлифованием. Шероховатость обработанной поверхности после притирки соответствует $R_z = 0,32 \div 0,05$ мкм, а точность — 5-му качеству. Припуск на две стороны для предварительной притирки берется от 0,005 до 0,015 мм, а для окончательной — до 0,005 мм.

2.7. Полирование, электрополирование и виброполирование

Полирование применяется как отделочная операция для уменьшения шероховатости поверхности. Высокая точность полированием не обеспечивается. Хорошо отполированная поверхность более коррозиестойчивая, поэтому часто полирование применяется как декоративное для покрытия деталей автомобилей, велосипедов, бытовых и промышленных приборов.

Полирование производится с помощью кругов, изготавливаемых из эластичных материалов (войлок, фетр, парусина, кожа). На круги наносится слой абразивного порошка или пасты. Вместо полировальных кругов можно использовать непрерывную быстродвижущуюся ленту с нанесенным на нее с помощью клея абразивным порошком.

В настоящее время для полирования очень широкое распространение получили полировальные круги с графитовым наполнителем. В их состав входит естественный корунд ЕМ28, бакелитовая связка и карандашный графит в качестве наполнителя. Их применение позволяет получить высококачественную гладкую поверхность и за счет устранения малоэффективных и непроизводительных ручных способов и инструментов повысить производительность в 5—8 раз.

При полировании имеют место два одновременно протекающих процесса: химико-механический и пластическое течение металла в очень тонком поверхностном слое.

Химико-механический процесс протекает со снятием с обрабатываемой поверхности зернами полирующего материала тонкого слоя окисленной пленки, а пластическое течение металла, вызываемое значительной температурой и давлением полировального круга на обрабатываемую деталь, способствует заплыванию микровпадин шероховатостей и уменьшению очагов коррозии в поверхностном слое детали.

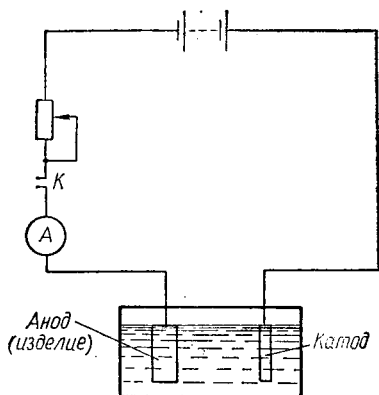


Рис. 115. Схема электрополирования

Шероховатость поверхности после полирования достигает $R_a = 0,04$ мкм. После окончательного полирования деталь приобретает зеркальный блеск. Припуск под полирование оставляется $0,004—0,020$ мм.

Для декоративной отделки поверхностей сложных по конфигурации деталей машин и инструментов очень часто применяется электрополирование. Как отделочная операция электрополирование может при-

меняться для подготовки поверхности металлов перед нанесением гальванических покрытий и даже окончательной отделки этих поверхностей.

Выполняется электрополирование в специальных деревянных или футерованных свинцом (а также некоторыми видами пластмасс) ваннах, в которых находится электролит — раствор ортофосфорной или серной кислоты. Обрабатываемые детали подвешиваются к аноду (рис. 115), и через электролит пропускается ток определенной плотности. Прохождение тока вызывает образование на поверхности изделия тонкой пленки, состоящей из продуктов растворения. Пленка обладает повышенным сопротивлением и вязкостью, а поэтому задерживается во впадинах шероховатостей. Выступы шероховатостей все время остаются оголенными, подвергаются действию тока и растворяются.

Припуск на электрополирование оставляется $0,003—0,005$ мм и снимается он за $15—46$ с, т. е. электрополирование является высокопроизводительной операцией отделки, обеспечивающей шероховатость поверхности $R_a = 0,16 \div 0,04$ мкм. Специфика процесса, заключающаяся в обильном газовыделении и постоянном обращении с сильными кислотами, требует определенной осторожности и соблюдения правил техники безопасности. Электрополирование называют еще электро травлением, которое нельзя отождествлять с обычным кислотным травлением.

Обычное травление деталей (инструмента) производится следующим образом: деталь обезжиривается (бензин, денатурат или др.); погружается на $10—15$ мин в раствор серной или азотной кислоты, в которую добавляют небольшое количество медного купороса; осуществляется промывка и нагрев до температуры $150—160^\circ \text{C}$ с выдержкой около 1 часа для удаления с поверхности детали водорода. Водород, проникший в сталь, делает ее хрупкой, получается так называемая травильная хрупкость, для ликвидации которой и направлена операция нагрева и выдержки.

Принципиальное отличие электрополирования, т. е. электротравления от обычного травления в кислоте заключается в том, что при обычном травлении в кислоте сталь растворяется почти равномерно как на выступах, так и во впадинах (рис. 116, а). При электротравлении

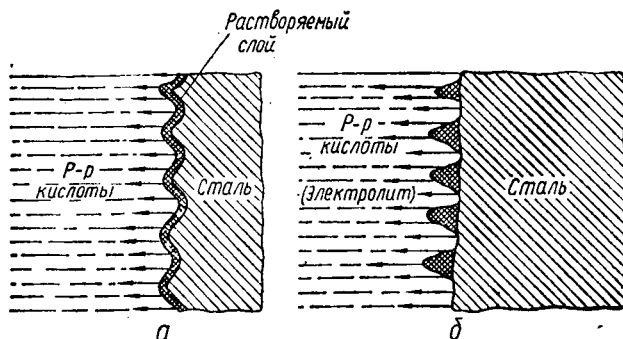


Рис. 116. Схемы травления:

а — травление в растворе кислоты; б — электроотравление

сталь интенсивно растворяется только на выступах шероховатостей, так как там пленка с повышенным сопротивлением разрывается постоянно (рис. 116, б). В результате этого качество поверхности после электроотравления выше.

Небольшие по длине (до 200—250 мм) валики, вал-шестерни, оси, пальцы и другие детали, не имеющие резьбовых поверхностей, можно полировать и глянцевать (отделывать) методом виброобработки (см. р. 3, § 1.9). Процессы полирования и глянцеваания осуществляют как с применением абразивных порошков, суспензий и паст, так и без них (в среде стальных полированных шариков различных размеров).

В качестве рабочих сред используются кусочки мягких полирующих материалов, например, древесины, кожи, войлока, фетра, резины, картона и др.

Изменение шероховатости поверхности происходит, главным образом, за счет последовательного удаления окислов металла в местах контакта частиц рабочей среды с обрабатываемой поверхностью. Исходя из этого, можно утверждать, что основой виброполирования и глянцеваания в среде мягких полирующих тел является механический процесс удаления с обрабатываемой поверхности мельчайших частиц материала детали. Высокого качества полирования можно достичь, если его осуществлять не в одной, а в трех-четырех отделочных средах и с применением различного рода поверхностно- и химически активных сред.

Поверхностно- и химически активные среды способствуют значительной интенсификации протекания процесса полирования (в 2—7 раз и более). Продолжительность обработки зависит от исходного состояния обрабатываемой поверхности. Используя в качестве поверхностно- и химически активного средства пасту ГОИ и деревянные кубики с кусочками кожи и фетра, можно достичь шероховатости поверхности $R_a = 0,4 \div 0,2$ мкм.

При полировании и отделке методом виброобработки необходимо соблюдать чистоту на рабочем месте, чтобы избежать попадания в рабочую камеру (с деталями или обрабатывающей средой) различного рода загрязнений и особенно твердых металлических, абразивных и

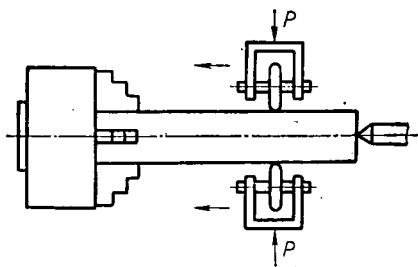


Рис. 117. Схемы обкатки цилиндрических поверхностей

других частиц, способствующих появлению на обрабатываемой поверхности грубых, неустраняемых на указанной операции царапин и задиrow.

2.8. Отделочная обработка давлением

Эта операция чаще всего применяется для обработки деталей типа вал, испытывающих значительные нагрузки знакопеременного характера.

В качестве инструмента для обработки давлением используются свободно вращающиеся вокруг своей оси ролики. С помощью специальных пружин ролики (или свободно вращающиеся шарики) прижимаются к детали с усилием 1470—3020 Н (рис. 117).

Деталь, подлежащая обкатке, должна быть предварительно обработана до шероховатости $R_a = 2,5 \div 0,63$ мкм. Обкатка способствует улучшению механических свойств поверхностного слоя, повышается твердость и предел текучести, что благоприятно сказывается на повышении усталостной прочности детали. Давление роликов выбирается в зависимости от применяемого материала, шероховатости поверхности, подлежащей обкатке, материала, твердости и геометрической формы самого ролика. Если будет слишком большое давление, то возможен случай отслаивания поверхностного слоя, а при недостаточном давлении ролика процесс обкатывания не даст ожидаемого результата.

Подача роликов назначается в пределах 0,4—0,8 мм/об, а скорость — от 30 до 200 м/мин.

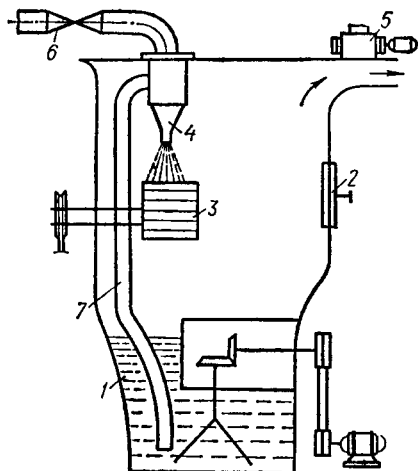
По сравнению с шлифованием обкатка является более производительной операцией отделочной обработки поверхностей. Шероховатость поверхности после обкатки понижается обычно на 2—3 класса. Естественно, шероховатость поверхности обкатывающих роликов или шариков должна быть меньше в 2—4 раза по сравнению с шероховатостью обрабатываемой поверхности.

2.9. Жидкостно-абразивная и дробеструйная обработка деталей

Жидкостно-абразивная и дробеструйная обработка деталей применяется для очистки поковок от окалины и ржавчины, литья, а также при подготовке сложных поверхностей под гальванические покрытия. Для очистки деталь помещается в специальную камеру (рис. 118) и на нее направляется струя жидкости, содержащая во взвешенном состоянии зерна абразива. Выбрасываемая через специальную форсунку жидкость с абразивом ударяется об обрабатываемую поверхность и сглаживает ее. Одновременно с уменьшением шероховатости обрабатываемая поверхность получает наклеп как следствие ударов абразивных зерен.

Рис. 118. Камера для жидкостно-абразивной обработки:

1 — всасыватель; 2 — заслонка для загрузки деталей; 3 — место закрепления деталей; 4 — форсунка; 5 — вентилятор; 6 — вентиль для перекрытия воздуха; 7 — труба для насоса жидкости



В качестве абразивов применяют зерна корунда, электрокорунда, кварцевого песка и др. Зернистость абразива принимается в зависимости от требуемой шероховатости. Более низкая шероховатость обрабатываемой поверхности обеспечивается при использовании мелких абразивных зерен.

Дробеструйная обработка поверхностей деталей машин применяется не столько для отделки наружных поверхностей, сколько для повышения прочности поверхностного слоя деталей сложной формы.

Дробеструйная обработка осуществляется в специальной камере, где помещается готовая, прошедшая механическую и термическую обработку деталь. Специальная дробь из стали или чугуна с большой скоростью, сообщаемой воздушной струей или ротором, направляется на обрабатываемую деталь. Время обработки зависит от требуемого слоя наклепа, сложности формы детали, материала детали и дроби, ряда других факторов и колеблется от нескольких секунд до нескольких минут. Глубина наклепанного слоя достигает 1 мм. Шероховатость поверхности после обработки значительного уменьшения не получает, а иногда и увеличивается ($R_z = 160 \div 5$ мкм).

Глава 3

ОБРАБОТКА ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ (ОТВЕРСТИЙ)

3.1. Основные требования к отверстиям и особенности процесса их обработки

Отверстия в деталях бывают цилиндрические, конические, фасонные и ступенчатые, открытые и глухие. Чаще всего встречаются цилиндрические отверстия.

В зависимости от конструктивных особенностей, технологического процесса, применяемых приспособлений, материала и т. д. обработку отверстий можно производить в сплошном материале и в заготовках с предварительно полученными отверстиями отливкой или прошивкой в горячем состоянии при ковке или штамповке. Обработку отверстий можно производить лезвийным инструментом, абразивным и без снятия стружки. От правильного выбора метода обработки отверстий зависит возможность получения той или иной точности размеров.

Основными способами обработки отверстий являются сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, прошивание, протягивание, шлифование и доводка.

В зависимости от назначения отверстий к ним предъявляются следующие требования: выдерживание размера отверстия по диаметру с заданной точностью; прямолинейность оси отверстия и образующей его поверхности; правильность цилиндрической формы отверстия, т. е. отсутствие овальности, конусности и огранки; перпендикулярность к торцовым поверхностям детали.

Особенностью обработки точных отверстий являются большие затраты станочного времени и средств на инструмент, так как достигнуть необходимой точности обработки отверстий труднее по сравнению с наружными поверхностями тел вращения. Это объясняется тем, что режущий инструмент для обработки отверстий и устройства для его крепления обладают меньшей жесткостью. Поэтому для достижения высокой точности обработки отверстий применяют увеличенное число проходов, чтобы постепенно довести погрешности первоначальной обработки до допустимых размеров.

3.2. Сверление и зенкерование отверстий

Сверление отверстий осуществляется по следующим схемам: 1) сверло получает вращательное движение и подачу вдоль своей оси, а обрабатываемая деталь неподвижно установлена на столе станка; 2) обрабатываемая деталь закреплена в патроне или цанге станка и имеет вращательное движение, а сверло, закрепленное в пинולי задней бабки, суппорта или револьверной головке, получает перемещение только вдоль своей оси; 3) обрабатываемая деталь закреплена в специальном приспособлении, установленном в шпинделе станка, и имеет вращательное движение, а сверло, закрепленное в специальном приспособлении на суппорте станка, получает вращательное рабочее движение и подачу вдоль своей оси.

Если не предъявляются высокие требования к точности и шероховатости обрабатываемого отверстия, то сверление может быть окончательной операцией. Сверлением можно обеспечить точность не выше 11—12-го квалитетов, а шероховатость поверхности $R_z = 80 \div 40$ мкм.

Сверление осуществляется сверлами диаметром от 0,25 до 80 мм и выше. Сверла разделяются на нормальные, для глубокого сверления, и специальные. К нормальным относятся спиральные, перовые и центровочные сверла. В практике с целью уменьшения деформаций и снижения усилий резания при сверлении больших отверстий в сплошном материале применяют сверла диаметром не более 30—35 мм. Увеличение диаметра отверстия в дальнейшем производится применением сверла большего размера (для глубокого сверления, пушечные или кольцевые). Сверление отверстий диаметром менее 10 мм производят с ручной подачей сверла.

В большинстве случаев при сверлении отверстий получается увод сверла и особенно при сверлении с вращением инструмента и неподвижным закреплением детали. Это объясняется отжимом конца свер-

ла при внедрении в металл и образуемым в результате изгибом его. На увод сверла влияет неравномерность заточки его режущих кромок, неодинаковый износ их, а также наличие зазоров в подшипниках шпинделя станка.

Наименьшее отклонение оси отверстия получается при вращении в противоположных направлениях сверла и обрабатываемой детали.

Применение кондукторов с закаленными и шлифованными втулками уменьшает увод сверла. В целях предохранения сверла от поломок в практике очень часто прибегают к предварительной зацентровке детали коротким сверлом с углом $2\varphi = 90^\circ$.

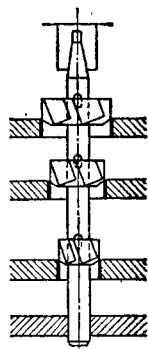
Угол углубления при зацентровке должен быть несколько меньше угла сверла, чтобы вначале сверло касалось детали режущими кромками, а не перемычкой, что уменьшает возможность смещения сверла под действием боковых нагрузок. Причиной поломок сверл чаще всего являются скопления стружки, которую надо своевременно удалять и в зону резания подавать охлаждающую жидкость.

Сверление отверстий можно производить на сверлильных, радиально-сверлильных, токарных, агрегатных и других станках. Выбор того или иного типа станка зависит от требуемой точности и характера производства. При сверлении отверстий двух разных диаметров рекомендуется просверлить отверстие большего диаметра с направлением инструмента по сменной втулке, а затем отверстие меньшего диаметра с направлением по оставшемуся следу от предыдущего сверла.

Операция зенкерования аналогична рассверливанию и обычно используется для увеличения диаметра ранее просверленного отверстия, а также для обработки отверстий, полученных отливкой или прошивкой. Зенкерование обеспечивает более чистую поверхность отверстия и является более производительным по сравнению с рассверливанием. Обычно оно предшествует чистовой обработке отверстий (развертыванию или шлифованию).

Режущим инструментом являются зенкеры с двумя, тремя и большим количеством режущих кромок. Чем больше режущих кромок на зенкере, тем точнее и чище обрабатывается отверстие. Зенкеры могут направляться не только сверху, но и снизу, что обеспечивает большую точность. Конструктивно зенкеры изготавливаются цельными, т. е. заодно с хвостовиком и вставными жожами. Лучший вариант — второй. Если надо обработать несколько отверстий диаметром больше 30 мм, находящихся на одной оси, то применяют оправки с насадными зенкерами (рис. 119).

По видам работ зенкеры бывают: головочные — для обработки отверстий под головки винта; зенковки — для обработки конических отверстий; торцовые или цековки — для обработки торцовых поверхностей, бобышек и приливов.



3.3. Растачивание и развертывание отверстий

Растачивание применяется в качестве черновой, промежуточной и окончательной обработки отверстий. Вид той или иной обработки диктуется заданной точностью, шероховатостью, режимами резания и качеством инструмента. Растачивание можно осуществить по следующим схемам.

1. Закрепленная в приспособлении обрабатываемая деталь имеет вращательное движение, а закрепленный в суппорте или револьверной головке резец или борштанга (оправка) — только поступательное вдоль оси обрабатываемого отверстия, осуществляя движение подачи. По такой схеме ведется растачивание на токарных, токарно-револьверных и карусельных станках, а также на автоматах и полуавтоматах.

2. Закрепленная на столе обрабатываемая деталь неподвижна, а борштанга с закрепленным на ней расточным резцом вращается. Подача осуществляется или перемещением стола станка, или соответствующим перемещением рабочего шпинделя вдоль оси обрабатываемого отверстия. Примером такой обработки является растачивание на горизонтально-расточных станках. Особенностью горизонтально-расточных станков является совмещение горизонтального движения шпиндельной бабки с вертикальным по направляющим стойкам.

Кроме указанных станков растачивание можно производить на вертикально-расточных, агрегатно-расточных, алмазно-расточных, координатно-расточных и специальных расточных станках. Расточные станки применяют, главным образом, для обработки в заготовках корпусных деталей отверстий с точно координированными осями. Координатно-расточные станки служат для обработки отверстий с особо точными межцентровыми расстояниями. При чистовом растачивании можно достичь шероховатости обработанной поверхности $R_a = 2,5 \div 1,25$ мкм и ниже.

Развертывание как операция механической обработки отверстий по 6—7-му классам точности используется в качестве окончательной. Точность получения размера, по сравнению с растачиванием и зенкерованием, выше за счет конструктивных особенностей разверток, к которым можно отнести неравномерность шага зубьев и обратный конус калибрующей части (диаметр уменьшается на 0,06—0,08 мм). Процесс развертывания ведется при тех же движениях инструмента и обрабатываемой детали, что и при растачивании, зенкеровании, сверлении и может производиться на токарных, револьверных, расточных и сверлильных станках.

Основное время при зенкеровании и развертывании определяется по формуле

$$t_{\text{очн}} = \frac{L}{ns} = \frac{l + l_1 + l_2}{ns}, \quad (135)$$

где L — полная длина пути, проходимая зенкером в направлении подачи, мм; l — глубина зенкерования, мм; l_1 — путь резания, мм; $l_1 = t \operatorname{ctg} \varphi$; t — глубина резания, мм; φ — главный угол в плане; l_2 — перебега инструмента, равный 1—3 мм.

При зенкеровании и развертывании конических отверстий с достаточной степенью точности можно рекомендовать формулу

$$t_{\text{осн}} = \frac{L + (0,5 \div 2)}{ns}, \quad (136)$$

где $L = \frac{D-d}{2} \operatorname{ctg} \varphi$, D и d — начальный и конечный диаметры конуса, мм; φ — главный угол в плане, равный половине угла при вершине конуса.

По конструкции режущей части развертки подразделяются на цельные (или сварные), сборные (со вставными ножами), постоянных размеров и регулируемые. По конструкции крепления — на хвостовые и насадные. По способу применения — на ручные и машинные. Ручные развертки имеют длинные зубья и такую же коническую заточенную часть, называемую заборной частью. Для удаления очень тонкого слоя металла используют развертки с плавающим ножом, представляющие собой специальную державку со свободно вставленными в пазы пластинами для резания.

3.4. Протягивание и прошивание отверстий

Протягиванием называется обработка отверстия в детали 2 на протяжном станке при помощи протаскивания через отверстие режущего инструмента — протяжки 1 (рис. 120, а).

Прошиванием называется обработка отверстий в детали 2 на прессе проталкиванием через отверстие режущего инструмента — прошивки 1 (рис. 120, б).

Принципиальная разница только в способе задания движения режущему инструменту — прошивка работает на сжатие, а протяжка на растяжение. Протягивание весьма точная (до 0,01 мм) и производительная операция. Применяется для обработки отверстий и различных канавок в заготовках деталей машин.

Протяжка представляет собой зубчатый стержень или рейку с профилем сечения, приближающимся (от начала к концу режущей части) к профилю обрабатываемого отверстия.

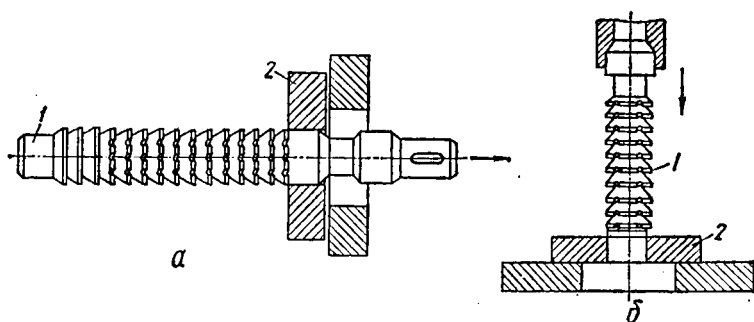


Рис. 120. Обработка отверстий:
а — протяжкой; б — прошивкой

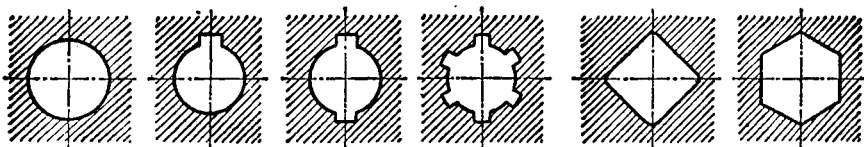


Рис. 121. Некоторые формы отверстий и пазов, получаемых протягиванием

Протягиванием можно получать отверстия самой разнообразной формы (рис. 121). Операция протягивания выполняется на протяжных станках. Тяговое усилие определяется по формуле:

$$P_z = pfZ_{\max}^2, \quad (137)$$

где p — удельное усилие резания, МН/м²; f — площадь поперечного сечения стружки, снимаемая одним зубом, мм²; $Z_{\max}$ — число одновременно работающих зубьев

$$Z_{\max} = \frac{L}{t} + 1, \quad (138)$$

где L — длина обрабатываемого отверстия, мм; t — шаг протяжки, мм. Шаг протяжки зависит также от длины обрабатываемого отверстия и определяется по формуле

$$t = (1,25 \div 1,5) \sqrt{L}. \quad (139)$$

Однако во всех случаях шаг должен быть такой величины, чтобы обеспечить количество одновременно работающих зубьев не менее 3.

Основное время при протягивании в один проход определяется по формуле

$$t_{\text{осн}} = \frac{1}{1000} \left(\frac{1}{V_p} + \frac{1}{V_x} \right), \quad (140)$$

где V_p — скорость рабочего хода, м/мин; V_x — скорость обратного (холостого) хода, м/мин; $L = l_p + l_k + l_z + y$ — длина хода протяжки, мм; l_k и l_p — соответственно длины рабочей и калибрующей частей протяжки, мм; l_z — длина протягиваемой поверхности заготовки, мм; $y = 5 \div 10$ мм — перебег.

Условие работы прошивок на сжатие ограничивает их длину, которая принимается равной не больше 12—15 диаметров обрабатываемого отверстия. При большей длине прошивки обычно гнутся.

3.5. Особенности протягивания глубоких отверстий

При протягивании глубоких отверстий цилиндрической формы применяются в основном двух- и трехзаходные винтовые протяжки (рис. 122), которые обеспечивают точность обработки по 6-му качеству и шероховатость поверхности $R_a = 0,63 \div 0,32$ мкм.

Обычно используется комплект протяжек, который в зависимости от длины отверстия может содержать от 2 до 5 штук.

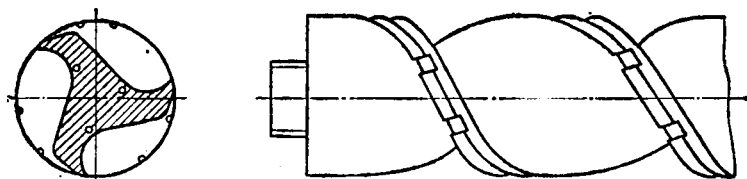


Рис. 122. Винтовая протяжка для глубокого резания

Подъем на зуб протяжки (на сторону) назначается $h = 0,015 \div 0,05$ мм. Расчет припуска на обработку рекомендуется производить по формуле

$$A = kD^{0,6} - L^{0,2}, \quad (141)$$

где $k = 0,02 \div 0,03$ и зависит от степени точности подготовленного под протягивание отверстия. Скорость резания не выше 3—4 м/мин.

Обработка глубоких отверстий протягиванием имеет некоторые особенности, накладывающие определенные условия на конструкцию инструмента: 1) на один зуб приходится большое количество срезаемого металла, поэтому в конструкции протяжки должны быть такие впадины, которые размещали бы образуемую стружку или обеспечивали бы ее отвод; 2) значительная нагрузка на протяжку из-за одновременной работы большого числа зубьев; 3) неудовлетворительные условия охлаждения протяжки, так как с увеличением глубины отверстия затрудняются условия подачи в зону резания охлаждающей жидкости.

Глубокими или длинными отверстиями считаются такие, длина которых превышает 6—7 шагов протяжки.

Очень часто, в целях предотвращения поломки протяжки, при протягивании глубоких отверстий в конструкции детали предусматривается специальная выточка диаметром несколько больше протягиваемого отверстия (рис. 123). Длина этой выточки определяется из соотношения $(L - l) \leq (6 - 7) t_{пр}$ при условии, что $L > (6 - 7) t_{пр}$, где $t_{пр}$ — шаг протяжки.

Для получения спиральной канавки в отверстии необходимо во время протягивания вращать с определенной скоростью протяжку с винтовым зубом. Если деталь, подготовленная для операции протягивания, имеет торец, перпендикулярный ее оси, то установку ее на горизонтально-протяжном станке можно производить на жесткой опоре, в противном случае — на шарнирной опоре.

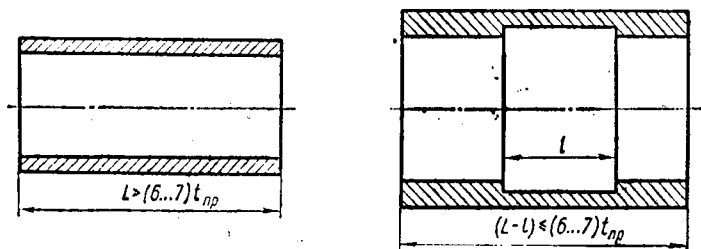


Рис. 123. Выточка в глубоком отверстии

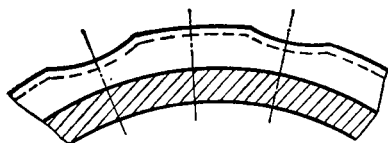


Рис. 124. Зуб протяжки переменного резания

Для протягивания цилиндрических отверстий пользуются круглыми протяжками, которые бывают прогрессивного резания, переменного (профильного) резания и с винтовым зубом.

Режущая часть протяжек прогрессивного резания состоит из нескольких секций. Каждая секция имеет режущие и зачистные зубья одинаковой высоты, но с различной длиной режущих кромок в каждой секции; поэтому каждый последующий зуб расширяет канавку, прорезанную предыдущим зубом. Число зубьев в секции от 2 до 6. Последующая секция имеет увеличенный на 0,3—0,4 мм наружный диаметр. Обладая рядом преимуществ (улучшенным отводом тепла от режущих зубьев, снижением удельной силы резания и уменьшением длины на 30—40%), эти протяжки сравнительно быстро выходят из строя из-за износа и поломок в уголках стружколомающих канавок.

Протяжки переменного резания имеют зубья, выполненные в форме фасонного резца с плавными криволинейными переходами (рис. 124), поэтому они лишены недостатков протяжек прогрессивного резания. Однако их изготовление сложнее и дороже. Они короче протяжек прогрессивного резания и обеспечивают более высокую точность.

Протяжки с винтовым зубом служат для протягивания отверстия небольшого диаметра и большой длины. Угол наклона винтовой линии 48—50°.

3.6. Шлифование отверстий

Шлифование отверстий производится на универсальных круглошлифовальных станках, оборудованных специальными приспособлениями для внутреннего шлифования, и на специальных внутришлифовальных станках. Обработке подвергаются отверстия преимущественно закаленных деталей, а также незакаленных, где нельзя применить расточку, протягивание и другие методы. Обработку отверстий можно осуществить по 5—6-му квалитетам точности. Операция относится к числу дорогостоящих. Диаметр шлифовального круга назначается в пределах 0,7—0,9 диаметра шлифуемого отверстия изделия. Учитывая недостаточную жесткость консольного шпинделя, поперечная подача

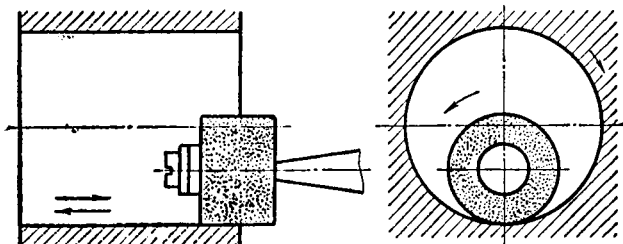


Рис. 125. Схема внутреннего шлифования при вращающейся детали

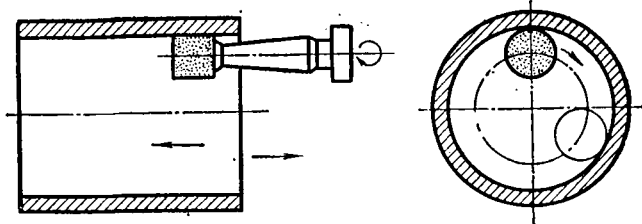


Рис. 126. Схема внутреннего шлифования при планетарном вращении

назначается не больше $0,003—0,015$ мм/об. Этим методом можно обработать отверстия тонкостенных деталей и отверстия с прерывистыми поверхностями (шлицевые и др.).

Шлифование отверстий можно выполнить тремя способами: 1) при вращающейся детали, закрепленной в патроне (рис. 125); 2) при неподвижной детали — на станках с планетарным движением шпинделя (рис. 126); 3) при вращении незакрепленной детали — бесцентровым шлифованием.

Первый способ наиболее распространен и применяется при шлифовании небольших деталей. В этом случае деталь, закрепленная в патроне, вращается, а шлифовальный круг, вращающийся с большой частотой, совершает возвратно-поступательное движение и поперечную незначительную подачу.

Продольная подача обычно выражается в долях ширины круга и при чистовом шлифовании составляет $0,2—0,3$ ширины круга.

Второй способ применяется при шлифовании крупных деталей, не представляющих собой тел вращения. Однако необходимым условием в этом случае является обеспечение скорости планетарного вращения шпинделя, равной скорости (окружной) вращения детали при шлифовании. При втором способе шлифования шпиндель имеет три движения: вращение вокруг оси; планетарное движение по кругу внутренней поверхности детали; возвратно-поступательное движение вдоль оси детали.

Третий способ, т. е. бесцентровое шлифование, применяется обычно в крупносерийном производстве. Деталь в этом случае на станке не закрепляется, а устанавливается между тремя роликами (рис. 127).

Необходимым условием для применения бесцентрового внутреннего шлифования является предварительное шлифование наружной поверхности. По этой поверхности деталь D поддерживается тремя роликами. Ролик I — ведущий, а II и III — поддерживающие. Кроме того, ролик I удерживает деталь от возможного вращения шлифовальным кругом K . Ролик II является нажимным, так как он может перемещаться в горизонтальном направлении.

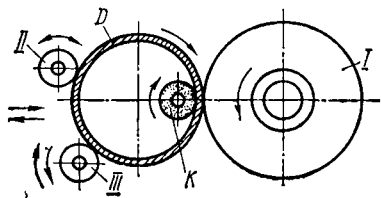


Рис. 127. Схема бесцентрового внутреннего шлифования

нии и регулировать усилия прижатия. Скорость вращения детали равняется скорости вращения ведущего ролика.

Точность обработки при бесцентровом шлифовании по диаметру достигает 0,008 мм, а точность на concentricity и параллельность оси внутреннего отверстия и наружной поверхности — 0,003 мм.

Шлифовать можно как сквозные, так и глухие внутренние отверстия, а также детали, имеющие по наружной поверхности уступы и бурты.

3.7. Хонингование внутренних поверхностей (отверстий)

Этот процесс осуществляют после развертывания, шлифования или тонкого растачивания отверстий, главным образом, для получения шероховатости поверхности $R_a = 0,02 \div 0,16$ мкм, $R_z = 0,25 \div 0,10$ мкм и точности не ниже 6-го квалитета. Как отделочная операция хонингование назначается для обработки внутренних поверхностей цилиндров, гильз двигателей и компрессоров, оружейных стволов и т. д. диаметром от 25 до 1500 мм. Ввиду того что хонинговальная головка шарнирно соединяется со шпинделем станка, операцией хонингования нельзя исправить положение оси отверстия, если оно было выполнено неправильно на предшествующей операции. Для повышения точности при горизонтальном хонинговании детали задается небольшое вращательное движение. Операция хонингования в состоянии исправить в некоторой мере конусность или овальность отверстия, а также довести его до требуемого размера.

Припуски под хонингование принимаются от 0,02 до 0,2 мм. Для повышения точности обработки хонингование можно осуществлять в две операции. В этом случае припуск под окончательное хонингование не превышает 5—15 мкм.

Хонингование производится на хонинговальных станках (вертикальных, горизонтальных или специальных, т. е. хонингование под углом — наклонное) специальной головкой, которая называется хо-

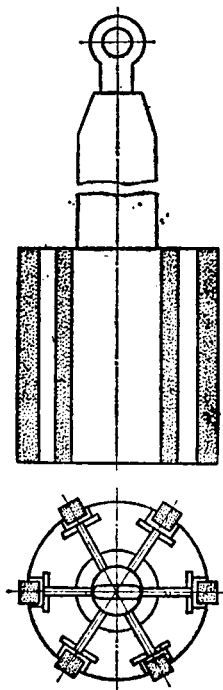


Рис. 128. Схема хонинговальной головки.

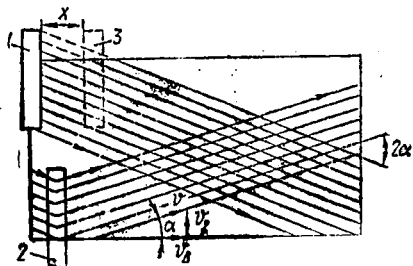


Рис. 129. Штрихи, получаемые на хонингуемой поверхности

ном (рис. 128). Хон состоит из нескольких (от 3 до 6) мелкозернистых абразивных брусков, смонтированных на одной оправке и устанавливаемых по диаметру отверстия. Когда хон будет заведен в отверстие, абразивные бруски разжимаются под действием специальных пружин или получают специальную принудительную радиальную подачу. Величина подачи находится в пределах 0,25—1 мкм на один двойной ход головки. Длина деталей оказывает существенное влияние на построение технологического процесса хонингования.

При хонинговании отверстий наибольшей точности в продольном направлении можно достичь в том случае, если длина абразивных брусков будет составлять около $\frac{3}{4}$ длины обрабатываемого отверстия, а для получения правильной геометрии у краев отверстия необходимо обеспечить длину выхода брусков из отверстия на $\frac{1}{3}$ их длины. При таких условиях возможность образования конусности, вогнутости или выпуклости образующих незначительная и диаметр отверстия по всей длине постоянный.

Существующие конструкции хонинговальных головок самые разнообразные, но принцип их работы одинаков и заключается в сообщении хону возвратно-поступательного и вращательного движений, а детали — только медленного вращательного.

Исходя из этого, траектория движения каждого абразивного зерна представляет собой попеременно правую и левую винтовые линии, угол подъема которых определяется отношением скорости возвратно-поступательного движения V_l к скорости вращения V_b хонинговальной головки

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V_l}{V_b}. \quad (142)$$

Если развернуть поверхность цилиндра на плоскость, то винтовые линии превратятся в прямые (рис. 129), угол между которыми 2α . С уменьшением угла α шероховатость поверхности уменьшается, но производительность хонингования понижается. Оптимальным значением отношения $\frac{V_l}{V_b} = \operatorname{tg} \alpha$ будет 0,15—0,35, т. е. когда $\alpha = 10 \div 30^\circ$.

На рис. 129 схематично показано положение шлифовального бруска в начале его хода 1; в конце этого же хода 2; в конце обратного хода 3; величина перекрытия (X).

При хонинговании важно, чтобы зерно абразива не проходило более одного раза по одной и той же траектории, так как в этом случае возможно углубление риски и увеличение шероховатости. Это достигается соответствующим подбором числа двойных ходов в минуту Π_l и частотой вращения хонинговальной головки Π_b , которые не должны находиться в простом кратном отношении. Число двойных ходов в минуту можно определить по формуле

$$n_l = \frac{500V_l}{L}, \quad (143)$$

где L — длина хода хонинговальной головки, мм.

Частота вращения головки в минуту

$$n_v = \frac{1000V_v}{\pi D},$$

где D — диаметр хонингуемого отверстия, мм;

$$\frac{n_l}{n_v} = \frac{\pi D}{2L} \cdot \frac{V_l}{V_v} = \frac{\pi D}{2L} \operatorname{tg} \alpha. \quad (144)$$

3.8. Обработка отверстий без снятия стружки

Этот процесс обработки заключается в калибровке отверстий с помощью дорна, проглаживаемых прошивок, шариков и раскатке их.

При дорновании инструментом служит специальный ролик (рис. 130), изготавливаемый из стали 9ХС с последующей термообработкой до $HRC\ 62-64$, шлифовкой и хромированием. Дорн имеет заборный угол $\alpha = 2 \div 5^\circ$ при обработке чугуна, $\alpha = 4^\circ$ при обработке сталей и переходный угол $\alpha_1 = 1 \div 1,5^\circ$, предусматриваемый для уменьшения тяговых усилий при дорновании. Дорнованием можно осуществить обработку по 5—6-му качеству точности и обеспечить шероховатость поверхности $R_a = 1,25 \div 0,040$ мкм.

Проглаживающие прошивки не имеют режущих зубьев, поэтому они только уплотняют поверхностный слой, проглаживают поверхность и калибруют отверстие (рис. 131).

При обработке мелких деталей из легких сплавов можно вместо дорна применять шарики (рис. 132). Однако в этом случае надо учитывать упругие свойства металла, наличие которых приводит к уменьшению отверстия после калибровки его шариком. Это явление можно компенсировать подбором шарика, диаметр которого несколько больше диаметра окончательно получаемого отверстия.

Раскатка отверстий производится для получения плотной и гладкой поверхности. Осуществляется она стальными закаленными и отшлифованными бочкообразными роликами. Ролики монтируются в специальной оправке по 10—12 штук. Роликораскатки могут быть регулируемые и нерегулируемые. Радиальные усилия при операции раскатки должны быть определенной для конкретного случая величины. На выбор усилия раскатки влияет толщина стенок детали и неоднородность их материала, что может при больших давлениях привести к деформациям детали.

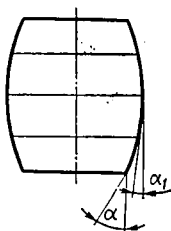


Рис. 130. Дорн

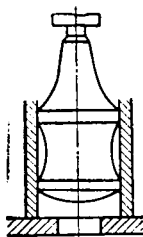


Рис. 131. Калибрование проглаживающей прошивкой

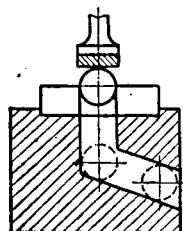


Рис. 132. Калибрование калиброванным шариком

4.1. Предпосылки выбора метода обработки плоскостей

Плоскости обрабатывают строганием, долблением, фрезерованием, шабрением, протягиванием и доводкой.

Основные положения, которыми можно руководствоваться при выборе станков для обработки плоскостей, состоят в следующем:

1. Если обработка поверхностей связана со снятием значительных припусков (от 10 до 30 мм), то обработку лучше всего производить на продольно-строгальных станках. В этом случае возможна установка нескольких деталей в ряд и одновременная их обработка. Значительные усилия резания, вызываемые снятием большого слоя металла, меньше отражаются на точности обработки при строгании, чем при фрезеровании, благодаря более простой конструкции строгальных станков по сравнению с фрезерными.

В крупносерийном и массовом производстве вместо продольно-строгальных целесообразно применение агрегатно-фрезерных станков, обеспечивающих большую производительность.

2. Если обработка связана со снятием припуска 5—8 мм, то ее целесообразно производить на фрезерных станках, как более производительных. Критерием использования фрезерных станков в этом случае служат размеры деталей и возможность установки их на имеющихся фрезерных станках.

Если размеры детали не позволяют установку ее на обычных фрезерных станках, рекомендуется использовать продольно-фрезерные. Эти станки выпускаются с размерами столов и расстояниями между стойками, близкими соответствующим размерам продольно-строгальных станков.

3. Обработка отливок и поковок со значительными неровностями поверхностей выполняется на строгальных станках, так как их режущий инструмент обладает большей жесткостью и устойчивостью при неравномерных нагрузках.

4. Обработку фасонных поверхностей следует производить на фрезерных станках, на которых представляется возможность лучше использовать фасонный режущий инструмент, специальные копирные устройства, или на копировально-фрезерных станках.

4.2. Обработка плоскостей строганием и долблением

Строгание и долбление применяются в единичном и серийном производстве и относятся к малопроизводительным операциям потому, что обработка ведется одним или небольшим числом резцов с потерями времени на холостые (обратные) ходы. При строгании и долблении резцы чаще всего устанавливают «на размер» по разметке или шаблонам и режут — с использованием метода «пробных ходов».

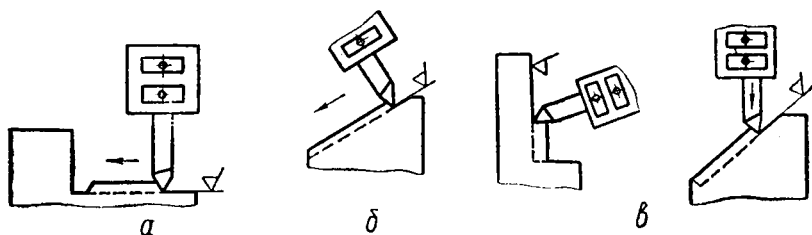


Рис. 133. Способы строгания плоскостей:
а — горизонтальных; б — наклонных; в — вертикальных

Долблением обрабатывают поверхности внутренних контуров, когда невозможно или затруднительно выполнять эту операцию на другом станке. По принципу работы долбление и строгание являются аналогичными процессами, однако в первом случае движение резания задается резцу, а движение подачи — заготовке, во втором случае — наоборот.

Строгальные станки делятся на две группы: поперечно-строгальные и продольно-строгальные. Они просты в эксплуатации, универсальны, обеспечивают достаточную точность обработки ($0,1\text{--}0,2\text{ мм}$ на 1 м длины), а шероховатость поверхности при чистовом строгании $R_a = 0,8 \div 6,3\text{ мкм}$.

В зависимости от направления подачи резца существуют следующие основные способы строгания плоскостей: с поперечной подачей резца и рабочим движением его вдоль обрабатываемой поверхности. Применяется для обработки плоскостей, расположенных горизонтально, и наклонных поверхностей (рис. 133, а, б); с вертикальной подачей резца и рабочим движением его перпендикулярно обрабатываемой поверхности (рис. 133, в).

Строгальные резцы изготовляют с напаянными пластинками из твердых сплавов Т15К6 и Т5К10 для обработки стали и ВК-6, ВК-8 для обработки чугуна.

Основные методы повышения производительности обработки на продольно-строгальных станках: одновременная обработка всеми имеющимися суппортами максимального количества деталей, установленных на столе станка; одновременная работа несколькими резцами, закрепленными в одной державке суппорта, что позволяет увеличить толщину снимаемого слоя и сократить число проходов; применение специальных приспособлений для установки и крепления деталей; рациональные режимы резания.

Скорости резания задают небольшие ($30\text{--}35\text{ м/мин}$ для чугуна и $25\text{--}30\text{ м/мин}$ для стали) из-за инерционных усилий, возникающих при движении стола и действующих на механизм станка в момент перемены направления движения (хода) стола.

4.3. Обработка плоскостей фрезерованием и протягиванием

Фрезерование является наиболее производительным методом обработки плоских и фасонных поверхностей, так как режущий инструмент — фрезы, являясь многолезвийным, позволяет снять больший

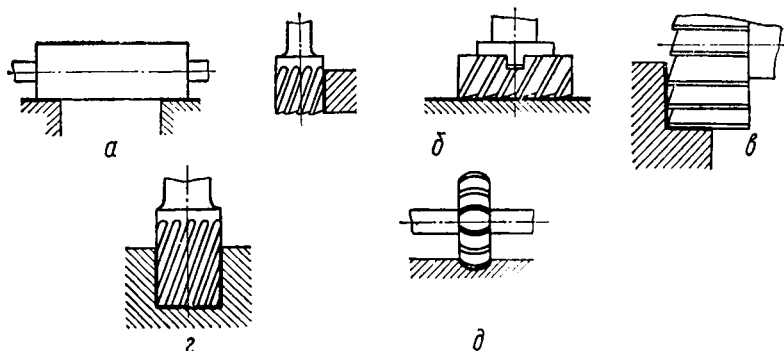


Рис. 134. Основные схемы обработки плоскостей фрезерованием

слой металла в единицу времени, чем при строгании или долблении. На рис. 134 показаны различные схемы фрезерования плоскостей: *a* — цилиндрическое; *б* — торцевое; *в* — двухстороннее; *г* — трехстороннее; *д* — фасонное.

По характеру выполняемых работ фрезерные станки подразделяются на горизонтально- и универсально-фрезерные, вертикально-фрезерные, продольно-фрезерные, шпоночно-фрезерные, шлице-фрезерные, резьбо-фрезерные и т. д.

При назначении режимов резания на фрезерных станках учитывают стойкость фрезы, т. е. время ее работы между двумя переточками. Стойкость фрезы зависит от скорости резания, подачи, материала и размера фрезы, материала обрабатываемой детали, способа охлаждения и т. п. Допустимая стойкость торцовых фрез диаметром от 75 до 400 мм находится в пределах 150—960 мин, а для цилиндрических диаметром от 90 до 225 мм — не больше 100—360 мин.

Фрезерование торцовыми фрезами производительнее за счет: 1) применения более коротких оправок по сравнению с креплением цилиндрических фрез, что обеспечивает большую жесткость и позволяет применить большие подачи; 2) большего количества зубьев, одновременно участвующих в фрезеровании, чем обеспечивается более спокойная и плавная работа фрезы; 3) применения фрез больших диаметров по сравнению с цилиндрическими.

Черновым фрезерованием можно обеспечить обработку по 9—13-му квалитетам точности и шероховатость поверхности $R_z = 80$ мкм, а чистовым — по 8—11-му квалитетам точности и шероховатость поверхности $R_z = 20$ мкм.

По признаку сочетания направления вращения фрезы и движения подачи различают два метода фрезерования: против подачи или встречное фрезерование, т. е. когда вращение фрезы и движение подачи имеют противоположные направления; попутное фрезерование, когда вращение фрезы и движение подачи имеют одинаковое направление (рис. 135). При встречном фрезеровании срезается очень тонкая стружка, от чего в начале резания имеет место скольжение режущих кромок фрезы по поверхности детали, что приводит к быстрому затуплению

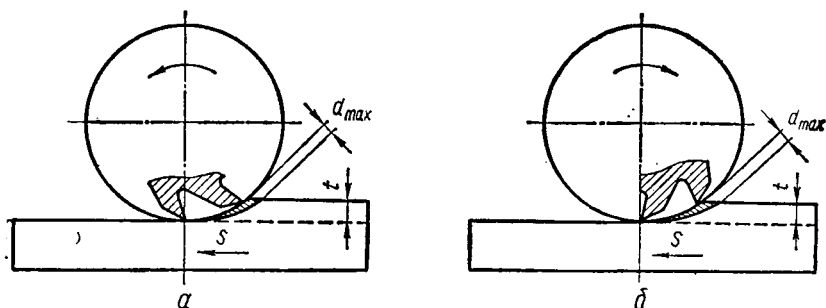


Рис. 135. Схемы фрезерования:
а — встречное; б — попутное

зубьев фрезы и увеличению шероховатости обрабатываемой поверхности.

При попутном фрезеровании сразу снимается стружка значительной толщины, которая перед окончанием прохода фрезы постепенно уменьшается вплоть до отрыва. Поэтому, наряду со значительным повышением производительности, стойкость фрезы выше, а шероховатость обработанной поверхности — ниже. В момент врезания зуба при попутном фрезеровании получается удар, который расшатывает механизм станка и может привести к поломкам фрезы и оправки. Этот недостаток ограничивает применение попутного фрезерования.

Протягивание отличается большой производительностью и низкой себестоимостью несмотря на сравнительно высокую стоимость оборудования и инструмента. Экономически оправдывает себя в крупносерийном и массовом производстве, где находит широкое применение. Успешно заменяет фрезерование при обработке пазов, канавок, плоскостей разъема, зубьев, шестерен. Протягиванию могут подвергаться как предварительно обработанные поверхности, так и черновые. В этом случае требуется только подобрать соответствующий инструмент. Как правило, при наружном протягивании используют протяжки прогрессивного резания. В качестве оборудования обычно используют вертикально-протяжные полуавтоматы.

В массовом производстве находят применение высокопроизводительные протяжные станки непрерывного действия (рис. 136) с цепным приводом. Протяжка в этом случае закрепляется неподвижно, а детали, установленные в специальные гнезда, вращаются и с обрабатываемых поверхностей снимается заданный слой металла при встрече с зубьями

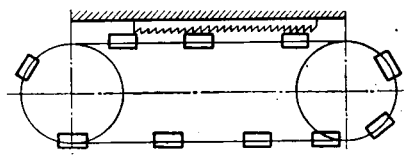


Рис. 136. Схема протяжного станка непрерывного действия

протяжки. Иногда могут быть использованы протяжные станки непрерывного действия с карусельной подачей, на которых имеется вращающийся барабан. По окружности барабана детали располагаются в приспособлениях и двигаются мимо протяжек, которые производят обработку.

4.4. Обработка плоскостей шлифованием и шабрением

Шлифование плоских поверхностей применяется чаще всего как обдирочная операция при наличии на поверхности твердой корки, не позволяющей или затрудняющей произвести другие операции, например, фрезерование или строгание. Кроме этого, шлифование применяется при обработке плоских поверхностей деталей недостаточной жесткости.

В принципе шлифование плоских поверхностей может применяться как для чистовой, так и черновой обработок. Припуск на черновое (обдирочное) шлифование должен быть значительно меньше, чем для фрезерования или строгания, однако, величина его может достигать до 2—4 мм. Глубина резания при обдирочном шлифовании назначается от 0,1 до 1 мм и более, а скорость стола — от 1 до 15 м/мин. Чистовое шлифование плоскостей производится мелкозернистыми кругами — корундовыми для стальных и карборундовыми для чугуновых деталей.

Шлифование может производиться торцевой частью круга (рис. 137, а) и периферией круга (рис. 137, б). При торцовом шлифовании применяют шлифовальные круги чашечной и тарелочной формы, так как в этом случае изнашивается только та часть круга, которая находится в соприкосновении с обрабатываемой поверхностью. Поэтому отпадает необходимость править всю поверхность круга. Преимуществом торцового шлифования является также и то, что в соприкосновении с обрабатываемой поверхностью находится большая площадь круга, т. е. больше зерен обрабатывает материал, а значит и производительность выше. Для уменьшения сил резания, нагрева круга и изделия, повышения точности обработки плоских поверхностей торцовым шлифованием рекомендуется ось шлифовального круга устанавливать с небольшим наклоном ($1-2^\circ$) к обрабатываемой поверхности.

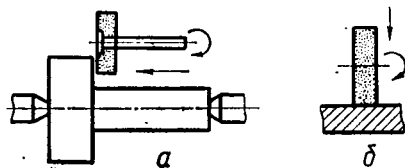
Шлифование периферией круга менее производительное, но точность по сравнению с обработкой торцовым шлифованием выше, поэтому ему отдают предпочтение при окончательной обработке измерительных инструментов, приборов, точных штампов и т. д.

Плоские поверхности могут подвергаться отделочным видам обработки (доводка, притирка, полирование), которые технологически ничем не отличаются от отделочной обработки поверхностей вращения.

Шабрение плоских поверхностей осуществляется с помощью шабера вручную и механическим способом. Ручной способ требует больших затрат времени и высокой квалификации исполнителя, но в этом случае возможно достичь высокой точности.

Механический способ позволяет получить высокую точность обработки при меньших затратах труда и времени, однако, он не позволяет обрабатывать детали со сложными поверхностями. Это является основной причиной ограниченного применения механического шабрения.

Рис. 137. Шлифование плоскостей:
а — торцевой частью круга; б — периферией круга



5.1. Виды резьб и методы их получения

В зависимости от назначения в машиностроении применяют два вида резьбы: крепежные — для взаимного соединения деталей; ходовые — для обеспечения поступательного движения деталей машин и механизмов.

По виду резьбы можно разделить на цилиндрические и конические. Конические резьбы применяют обычно при необходимости создания плотности резьбового соединения. Наибольшее распространение получили цилиндрические крепежные резьбы с треугольным профилем, которые бывают метрические (с углом профиля 60°) и дюймовые (с углом профиля 55°). По величине шага p цилиндрическая резьба подразделяется на резьбу с крупным и мелким шагом.

Ходовые резьбы нарезают прямоугольного и трапецеидального профилей; последние, кроме того, бывают однозаходные и многозаходные. К другим цилиндрическим резьбам специального назначения можно отнести: трубную резьбу, представляющую собой измельченную по шагу дюймовую резьбу с закругленными впадинами; одно- и многозаходные трапецеидальные резьбы для передачи движения; упорную резьбу, используемую в условиях значительных динамических нагрузок и загрязнений; часовую резьбу, применяемую обычно в точном приборостроении, когда диаметр резьбового соединения не превышает 1 мм.

По расположению на деталях резьба может быть наружной и внутренней, а по способу ее изготовления — со снятием стружки (нарезание резьбы) и без снятия стружки, т. е. пластической деформацией заготовки (накатывание или выдавливание резьбы).

Нарезание резьбы может быть выполнено на токарных станках и автоматах, револьверных, сверлильных, резьбофрезерных, расточных, резьбонарезных и резьбошлифовальных станках.

Накатывание резьб может быть выполнено на специальных резьбонакатных станках, где в качестве инструмента используют накатные плашки или накатные ролики, а также на некоторых металлорежущих станках, приспособленных для накатывания резьб специальными головками или другими приспособлениями.

ГОСТ 16093—70 в соответствии с требованиями, предъявляемыми к точности метрического резьбового соединения диаметров от 1 до 600 мм, устанавливает поля допусков болтов и гаек в трех классах точности: точном, среднем и грубом. Каждому классу точности соответствуют определенные степени точности, определяющие допуски диаметров резьбы болтов и гаек и обозначаемые числами 4—8 (табл. 5).

Установлены ряды основных отклонений полей допусков резьбы относительно номинального профиля ее, обозначаемые буквами латинского алфавита. Строчными буквами h, g, e, d обозначаются отклонения для болта и прописными H, G — для гайки. Обозначение поля допуска

Таблица 5

Диаметр		Степень точности
болта	наружный d	4; 6; 8;
	средний d_2	4; 6; 7; 8
гайки	наружный d_1	5; 6; 7;
	средний d_2	4; 5; 6; 7

Таблица 6

Классы точности	Поля допусков резьб	
	болтов	гаек
Точный	$4h$	$4H5H$
Средний	$6h; \boxed{6g}; 6e; 6d$	$5H6H; \boxed{6H}; 6G$
Грубый	$8h; \boxed{8g}$	$\boxed{7H}; 7G$

диаметра резьбы состоит из цифры, показывающей степень точности, и буквы, обозначающей основное отклонение. Например, $6h$, $6g$, $6H$. Обозначение поля допуска резьбы следует за обозначением размера резьбы. Например, резьбы с крупным шагом: болт М12 — $6g$, гайка М12 — $6H$; резьбы с мелким шагом: болт М12 $\times$ 1 — $6g$, гайка М12 $\times$ 1 — $6H$, болт с обязательным закруглением впадины М12 — $6H - P$.

Посадки резьбовых деталей обозначают дробью, в числителе которой указывают обозначение поля допуска гайки, а в знаменателе — обозначение поля допуска болта. Например, М12 — $\frac{6H}{6g}$; М12 $\times$ 1 — $\frac{6H}{6g}$.

Длины свинчивания подразделяются на три группы: S (малые), N (нормальные) и L (большие), которые в зависимости от шага резьбы и номинального диаметра нормализованы и назначаются по таблицам указанного ГОСТа. Случай назначения резьбы с длиной свинчивания, отличающейся от нормальной, оговаривается в обозначении. Например: М12 — $7g\ 6g - 30$. Обозначения полей допусков резьб в установленных ГОСТ 16093—70 классах точности приведены в табл. 6.

Значения полей допусков, заключенные в рамки, рекомендованы для предпочтительного применения. В обоснованных случаях разрешено применять поля допусков, которые образованы сочетанием полей допусков разных классов точности на средний диаметр и диаметр

Таблица 7

Болты		Гайки	
поле допуска по ранее действовавшим стандартам	поле допуска по ГОСТ 16093—70	поле допуска по ранее действовавшим стандартам	поле допуска по ГОСТ 16093—70
Кл. 1 } Кл. 2 } Кл. 2а } Кл. 3 }	4h 6g 6g 8g	Кл. 1 } Кл. 2 } Кл. 2а } Кл. 3 }	4H5H 6H 6H 7H
Кл. 2а } Кл. 3 }	ГОСТ 10191—62	Кл. 3Х ГОСТ 10191—62	6G

выступов (наружный диаметр болтов или внутренний диаметр гаек). Например, для болтов — $4h6h$; $8h6h$; $8g6g$; для гаек — $5H$; $7H6H$. Если обозначения поля допуска диаметра по вершинам резьбы совпадают с обозначением поля допуска среднего диаметра, то оно в обозначении поля допуска резьбы не повторяется. Например, $6h$ или $6H$.

В случае необходимости замены допусков резьб по ранее действовавшим стандартам (ГОСТ 9253—59 и ГОСТ 10191—62) на допуски по ГОСТ 16093—70 рекомендуется к использованию табл. 7.

Нарезание резьб является сложным процессом, так как, наряду с выполнением требований к точности диаметральных размеров, необходимо строго выдерживать и такие характеристики резьбы, как угол профиля, шаг резьбы и шероховатость ее поверхности.

5.2. Нарезание резьбы на токарных станках

На токарных станках можно нарезать как наружные, так и внутренние резьбы. Инструментом при нарезании наружных резьб являются резьбовые резцы и гребенки, плашки и резьбонарезные головки, а внутренних — метчики, резьбовые резцы и гребенки. Чтобы обеспечить высокую точность профиля нарезаемой резьбы, необходимо выполнить следующие условия: 1) режущие кромки чистового резца должны точно соответствовать профилю резьбы; 2) установка резца должна производиться по шаблону, обеспечивающему строго перпендикулярное расположение резца к оси станка, так как в противном случае резьба получится косой; 3) режущие кромки резца должны лежать в плоскости, проходящей через ось изделия, так как при другом их положении резьба будет искажаться.

Конструктивная особенность резьбовых резцов, заключающаяся в наличии острого угла при вершине в плане, не допускает больших нагрузок, поэтому нарезание резьбы производится в несколько проходов. Подача резца на врезание может осуществляться перпендикулярно к оси изделия и под углом (рис. 138). При поперечной подаче резца, перпендикулярной к оси изделия, увеличиваются удельные силы резания и появляется возможность возникновения вибраций при обра-

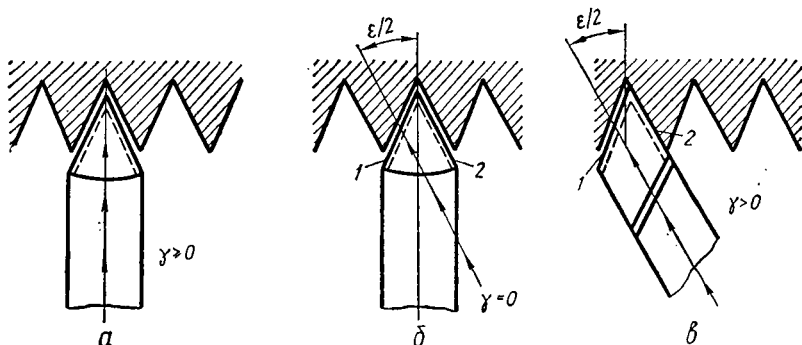


Рис. 138. Способы подачи резьбового резца на врезание:
а — перпендикулярно оси заготовки; б, в — под углом к оси заготовки

ботке деталей малой жесткости (рис. 138, а). Эти явления вызываются тем, что в резании участвуют как вершина резца, так и обе режущие его кромки, находящиеся в неодинаковых условиях из-за различной величины угла резания (у левой кромки угол резания меньше 90° , а у правой — больше 90°).

Если подача на врезание осуществляется под углом, равным половине угла профиля резьбы, то основная работа резания осуществляется главной режущей кромкой 1 (рис. 138, б, в), которая с направлением подачи образует угол, равный углу профиля резьбы. Это приводит к уменьшению удельного усилия резания за счет увеличения соотношения толщины среза к периметру. Следовательно, возможность появления вибраций уменьшается. Недостатком в этом случае является ухудшение качества поверхности, обрабатываемой вспомогательной кромкой 2. В процессе резания эта кромка почти не участвует, но вследствие трения задней грани о поверхность детали на последней появляются шероховатости и задиры.

Применение первого или второго метода подачи при нарезании резьб обычно зависит от величины их шага. Если шаг треугольных, трапецеидальных или прямоугольных резьб меньше или равен 2 мм, то подача резца осуществляется в радиальном направлении. Величина ее обычно составляет при черновых проходах 0,15—0,30 мм, а при чистовых 0,05—0,1 мм.

Треугольные резьбы с шагом больше 2 мм нарезаются по методу бокового врезания. Величина подачи лимитируется жесткостью обрабатываемой детали и может находиться от 0,3 до 1,2 мм при первых черновых проходах. Чистовые проходы осуществляются с радиальной подачей, величина которой не должна превышать 0,1 мм.

Скорости резания V при нарезании резьб определяются, главным образом, требованиями, предъявляемыми к шероховатости поверхности резьбы, однако, немалую роль в выборе их величины играет качество материала заготовки и режущего инструмента, качество заточки его и другие факторы. Токари-новаторы нарезание резьб выполняют со скоростями порядка 300 м/мин и выше.

Высокие требования к заточке резцов и сохранению ими правильного профиля в течение определенного времени работы привели к необходимости внедрения в производство фасонных резьбовых резцов (призматических и круглых). Боковые грани таких резцов отшлифовываются при изготовлении, поэтому заточке подвергается только грань 1 (рис. 139). Это в значительной мере способствует лучшему сохранению профиля резьбы. В целях получения резьбовых поверхностей с меньшей шероховатостью рекомендуется использовать пружинные державки, обеспечивающие подпружинивание в направлении резания.

Резцы, имеющие не один, а несколько режущих зубьев, называются гребенками (рис. 140). Для нарезания остроугольных резьб используются в основном призматические и круглые гребенки, имеющие канавки с наклоном, соответствующим углу подъема нарезаемой резьбы. При нарезании резьбы гребенкой работа распределяется между несколькими зубьями. Это обеспечивается стачиванием концов зубьев от одного края гребенки к другому, за счет чего глубина резания постепенно

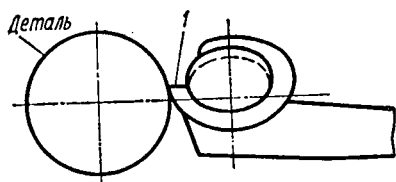


Рис. 139. Круглый резьбовой резец

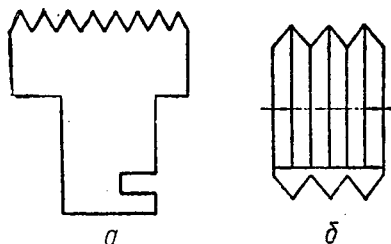


Рис. 140. Резьбовые гребенки: а — призматическая; б — круглая

увеличивается. Как правило, гребенки используются для нарезания резьб мелкого шага в мягких материалах.

Преимущества использования резьбовых гребенок заключаются в значительном сокращении количества проходов, а следовательно, и уменьшении времени на резьбонарезание.

К числу недостатков, ограничивающих использование резьбовых гребенок, можно отнести: невозможность их применения для нарезания деталей, у которых резьба доходит до выступа или буртика, так как часть, находящаяся ближе к буртику, не получит полной резьбы; непригодность гребенок для нарезания крупных резьб из-за больших усилий резания, возможности возникновения вибраций и большой шероховатости обработанной поверхности.

Процесс нарезания резьбы как резцами, так и гребенками связан с деформациями в металле и увеличением наружного диаметра примерно на 0,2—0,5 мм. Это учитывается при нарезании точных резьб на заготовках из вязких и пластических материалов соответствующим уменьшением (или увеличением) диаметра проточенной под резьбу части на величину, составляющую от 0,1 до 0,2 ее шага.

Нарезание многозаходных резьб осуществляется на токарно-винторезных станках путем поворота заготовки (после нарезания одной

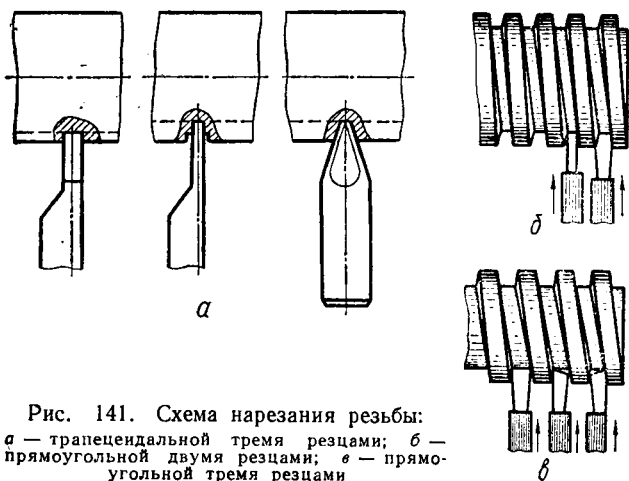


Рис. 141. Схема нарезания резьбы: а — трапецидальной тремя резцами; б — прямоугольной двумя резцами; в — прямоугольной тремя резцами

нити резьбы) на такую часть окружности, сколько заходов имеет резьба. Такой поворот обрабатываемой заготовки можно осуществить с помощью специального поводкового патрона с пазами, специальной планшайбы с поворотным диском и лимбом для отсчета угла поворота, путем поворота одного из сменных зубчатых колес гитары или перемещением верхних салазок суппорта с резцом на расстояние между заходами резьбы.

Нарезание прямоугольных и трапецеидальных резьб является более сложным процессом по сравнению с нарезанием треугольных резьб. Последовательность этого процесса показана на рис. 141.

5.3. Нарезание резьбы вращающимися резцами (вихревое нарезание)

Вращающимися резцами можно нарезать как наружные, так и внутренние резьбы на специальных станках и на обычных токарных, оборудованных резцовой головкой вместо суппорта.

Деталь, на которой должна быть нарезана резьба, закрепляется в центрах или патроне станка. В резцовой головке устанавливаются резцы. Деталь в процессе работы вращается с небольшой частотой вращения ($n_d = 3 \div 30$ об/мин).

Так как резцовая головка, вращающаяся от специального привода с частотой $n_r = 1000 \div 3000$ об/мин, расположена эксцентрично относительно оси нарезаемой детали, то вращение детали является движением круговой подачи со скоростью S_d (мм/мин)

$$S_d = \pi D_d n_d \quad (145)$$

Круговая подача на один оборот резцовой головки S_r (мм/об) будет

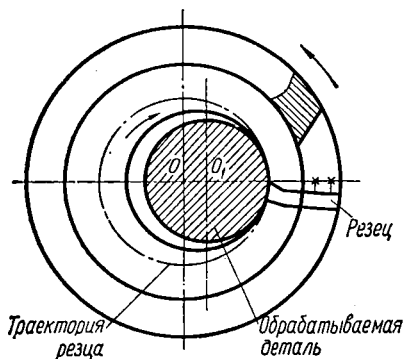
$$S_r = \frac{\pi D_d n_d}{n_r}, \quad (146)$$

где D_d — диаметр детали, мм; n_d и n_r — частота вращения детали и головки, об/мин. Обычно принимают $S_r = 0,2 \div 0,8$ мм/об (меньшее значение при нарезании внутренних резьб).

Траектория вращения резцов совпадает с направлением винтовой линии на среднем диаметре нарезаемой резьбы. При вращении головки каждый резец описывает окружность, диаметр которой больше диаметра детали (рис. 142).

Рекомендуется принимать $\frac{D_p}{D} = 1,4 \div 1,6$, где D_p — диаметр окружности вращения резцов, мм; D — диаметр нарезаемой резьбы, мм. При $\frac{D_p}{D} < 1,4 \div 1,6$ увеличивается дуга контакта резцов с деталью, что вызывает дополнительное искажение профиля резьбы, уменьшает стойкость и производительность резцов. Если $\frac{D_p}{D} > 1,4 \div 1,6$, то при выбранной скорости резания надо уменьшать частоту вращения головки, вследствие чего увеличится огранка. Для уменьшения огранки надо уменьшить подачу на один резец, из-за чего снизится производительность.

Рис. 142. Схема вихревого нарезания резьбы



При нарезании внутренних резьб принимается $\frac{D_p}{D} = 0,6 \div 0,7$. Один раз за каждый оборот головки резец соприкасается с нарезаемой деталью по дуге и за каждый оборот прорезает канавку в виде серпа, имеющую форму профиля резьбы. Так как резцы участвуют в работе попеременно, то их нагревание незначительно и применение смазывающей охлаждающей жидкости нецелесообразно. Обработка производится за один проход.

Резцовая головка, кроме вращательного движения, получает осевое перемещение, согласованное с вращением заготовки так, что за один оборот заготовки оно равно шагу нарезаемой резьбы.

Как при наружном, так и внутреннем вихревом нарезании резьбы, резьбовую головку поворачивают относительно оси детали на величину угла подъема винтовой линии резьбы. Скорость резания находится в пределах 150—450 м/мин. Метод обеспечивает средний класс точности и зависит от формы резцов, их точности, состояния станка и т. п. Шероховатость поверхности $R_z = 40 \div 20$ мкм. Основное время нарезания резьбы вращающимися резцами t_0 , мин

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{вп} + l_n) \pi D_n}{p S_z Z_p n_r}, \quad (147)$$

где l_0 — длина резьбы, мм; $l_{вп} = 1 \div 2$ шага резьбы — величина врезания резца, мм; l_n — перебег резца, мм (принимается $l_n = l_{вп}$); D_n — наружный диаметр резьбы, мм; p — шаг нарезаемой резьбы, мм; S_z — круговая подача заготовки на один резец за один оборот резцовой головки, мм; Z_p — число резцов в резцовой головке; n_r — частота вращения резцовой головки в минуту.

5.4. Нарезание резьбы плашками и резьбонарезными головками

Этот метод применяется только для нарезания наружных резьб мелкого и среднего диаметров на токарных, револьверных и болторезных станках, а также на токарно-револьверных автоматах.

Плашки при изготовлении подвергаются термообработке, в результате чего точность нарезаемых с их помощью резьб получается по грубому классу. Диаметр заготовки под нагрузку резьбы плашками должен быть меньше на 0,15—0,2 шага по сравнению с наружным диаметром нарезаемой резьбы. Основное время при нарезании плашками определяется по формуле

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{вп} + l_n)}{n p} + \frac{(l_0 + l_{вп} + l_n)}{n_0 p}, \quad (148)$$

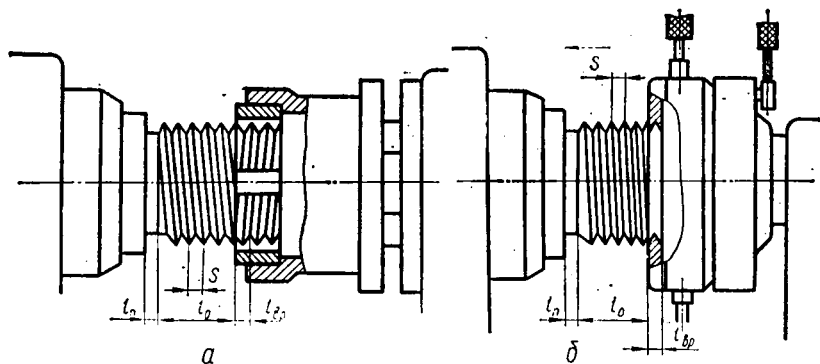


Рис. 143. Схемы нарезания резьбы:
а — круглой плашкой; б — резьбонарезной головкой

где l_0 — длина нарезаемой резьбы, мм; l_{br} — величина врезания плашки, мм; l_n — перебеги плашки, мм ($l_{br} = l_n = 1 \div 2$ шага резьбы, мм); p — шаг нарезаемой резьбы, мм; n — частота вращения плашки при рабочем ходе, об/мин; n_0 — частота вращения плашки при обратном ходе, об/мин.

Недостатком плашек является невысокая точность нарезаемых ими резьб и низкая производительность из-за необходимости обратного свинчивания после нарезки (рис. 143). Этот недостаток в значительной мере устраняется при нарезании резьб с применением резьбонарезных головок, плашки которых в конце хода автоматически раздвигаются и быстро отводятся назад. Производительность нарезания резьбы резьбонарезными головками в 3—4 раза выше, чем круглыми плашками, а точность нарезанной резьбы не ниже среднего класса.

Основное время при нарезании резьбы самораскрывающимися резьбонарезными головками будет меньше на величину второго слагаемого формулы (148).

Применение смазочно-охлаждающей жидкости обязательно. Род ее зависит от обрабатываемого материала. Резьба получается за один или два прохода при скоростях резания, находящихся в зависимости от материала заготовки в пределах от 8 до 30 м/мин.

5.5. Нарезание резьбы метчиками

Метчики используются только при нарезании внутренних треугольных резьб в сквозных или глухих отверстиях на токарных, сверлильных, гайконарезных, одно- и многошпиндельных резьбонарезных станках. При нарезании резьбы метчиками на токарных и сверлильных станках необходимо стремиться к тому, чтобы процесс нарезания являлся одним из переходов операции по обработке отверстия в детали.

Нарезание метчиками резьб малых диаметров осуществляется сравнительно легко. Резьбы больших диаметров и крупных профилей получаются обычно менее точными и с большой затратой времени,

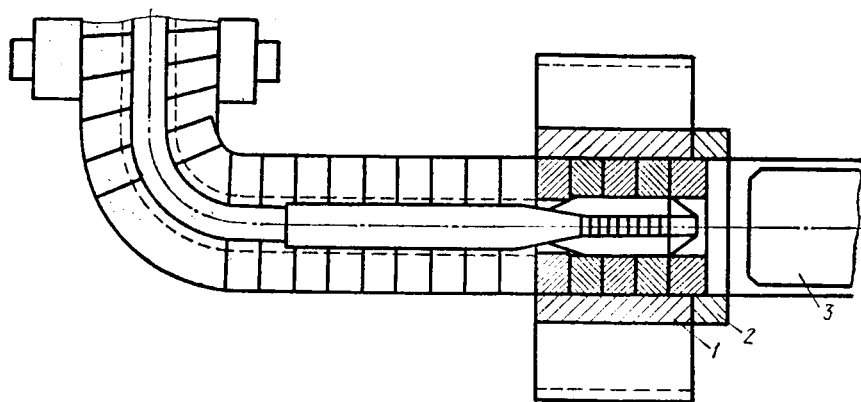


Рис. 144. Схема нарезания резьбы в гайках метчиком с изогнутым хвостовиком

что не всегда экономически целесообразно. При нарезании резьб в глухих отверстиях используют точные реверсивные устройства для своевременного вывинчивания метчика. В зависимости от диаметра и длины нарезаемой в сквозных и глухих отверстиях резьбы требуется обычно от одного до трех метчиков, последовательность использования которых определяется конструктивным исполнением их режущих головок, величиной диаметра и длиной резьбы.

Для крепления метчиков на станках применяют специальные патроны, которые бывают жесткими, самоустанавливающимися и с компенсацией отклонений в шаге резьбы. Самоустанавливающиеся патроны применяют на револьверных и сверлильных станках в случае незначительного несовпадения осей метчика и отверстия под резьбу. Если подача метчика осуществляется в принудительном порядке, то патрон должен обеспечить компенсацию разницы в подаче шпинделя и шаге резьбы и метчика.

Скорости резания при использовании метчиков ограничиваются требованиями точности и твердости материала. Значения скорости, находящиеся в пределах 7—15 м/мин, обеспечивают средний класс точности. Уменьшив эту скорость на 25—30%, можно получить резьбу точного класса.

Широкое применение нашли резьбонарезные головки с раздвижными плоскими плашками или, как их еще называют, самооткрывающимися метчиками. С их помощью осуществляется нарезание внутренней резьбы, главным образом, на револьверных станках и полуавтоматах. По принципу действия они мало чем отличаются от самораскрывающихся головок для нарезания наружных резьб. В данном случае, по окончании нарезания резьбы режущие плашки автоматически сдвигаются. Это позволяет вывести метчик из нарезаемого отверстия с меньшей затратой времени по сравнению с вывинчиванием.

Нарезание резьбы в гайках метчиком с изогнутым хвостовиком, применяемое на гайконарезных автоматах, схематически показано на рис. 144. Заготовки гаек толкателем 3 заталкиваются в направляю-

щую втулку 2. Во вращающейся втулке 1 гайки центрируются и приводятся во вращение (метчик не вращается). Толкая друг друга, гайки передвигаются и сходят с конца хвостовика в сборник.

5.6. Фрезерование резьбы

Фрезерование в зависимости от применяемого для обработки инструмента осуществляется двумя методами: дисковой фрезой; гребенчатой или групповой фрезой.

Для нарезания используют резьбофрезерные станки. Длинные и короткие резьбы треугольного и трапецеидального профиля нарезаются дисковыми и гребенчатыми фрезами на обычных резьбофрезерных станках или полуавтоматах. Для нарезания коротких резьб на крупногабаритных деталях используют планетарные резьбофрезерные станки.

Дисковой фрезой можно фрезеровать наружные и внутренние резьбы различной длины с большим шагом и крупным профилем. Причем внутренние резьбы получаются лучшего качества за счет плавности работы фрезы, обеспечиваемой большим количеством одновременно работающих зубьев.

Количество проходов зависит от размеров резьбы, требуемой шероховатости и точности ее выполнения и обычно не превышает двух — трех. Профиль дисковой фрезы должен абсолютно точно соответствовать профилю нарезаемой резьбы.

Ось фрезы 1 (рис. 145) располагается по отношению к оси заготовки 2 под углом α , равным углу подъема винтовой линии на среднем диаметре резьбы.

К центровым отверстиям заготовки предъявляются требования строгой concentричности относительно наружного диаметра.

При нарезании резьбы фреза, кроме вращения, имеет поступательное движение вдоль оси заготовки, причем перемещение за один оборот заготовки должно соответствовать шагу резьбы. Фреза крепится на шпинделе фрезерной головки консольно, вращение детали происходит медленно в соответствии с подачей. Если фрезерованию подлежат длинные нежесткие заготовки, то целесообразно применять подвижные люнеты, перемещающиеся впереди фрезы.

Поверхность нарезанной дисковой фрезой резьбы получается шероховатой, так как процессу фрезерования сопутствует прерывистый характер резания и неравномерная нагрузка на заготовку. Кроме того, в процессе фрезерования происходит подрезание профиля резьбы,

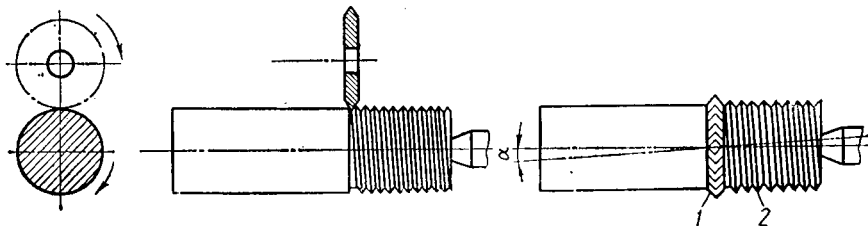


Рис. 145. Нарезание треугольной резьбы дисковой фрезой

компенсация которого может быть осуществлена сложной корректировкой профиля фрезы.

По производительности фрезерование резьбы уступает нарезанию ее резцами обычным и вихревым способом. Это объясняется сравнительно низкими режимами резания. Практически подача на один зуб фрезы принимается от 0,02 до 0,08 мм при фрезеровании стали и до 0,14 мм при нарезании резьб в чугунных заготовках. Скорость резания находится в пределах 30—70 м/мин при нарезании наружных резьб и уменьшается на 25—30% при нарезании внутренних резьб. Основное время при нарезании дисковой фрезой на резьбофрезерных станках

$$t_0 = \frac{l_0 + l_{\text{вп}} + l_{\text{п}}}{p} \cdot \frac{\pi d}{S_{\text{к}} \cos \alpha} i g, \quad (149)$$

где l_0 — длина резьбы, мм; $l_{\text{вп}} = 1 \div 3$ шага резьбы — величина врезания фрезы, мм; $l_{\text{п}}$ — перебеги фрезы, мм ($l_{\text{п}} = 1 \div 3$ шага резьбы при нарезании ее на проход и $l_{\text{п}} = 0$ для резьбы в упор); d — наружный диаметр нарезаемой заготовки, мм; p — шаг резьбы, мм; α — угол подъема резьбы, град; i — число ходов; g — число заходов резьбы; $S_{\text{к}} = S_z \cdot Z \cdot n_{\text{ф}}$ — круговая подача, мм/мин, здесь S_z — подача на зуб фрезы, мм; Z — число зубьев фрезы; $n_{\text{ф}}$ — частота вращения фрезы, об/мин.

Фрезерование резьб с использованием гребенчатых фрез применяется для получения коротких резьб с мелким шагом. Длина фрезы обычно принимается на 2—5 мм больше длины фрезеруемой резьбы. Все витки резьбы нарезаются одновременно и весь процесс производится за 1,2—1,3 оборота заготовки. В отличие от дисковой фрезы гребенчатая устанавливается не под углом к оси заготовки, а параллельно. Гребенчатые фрезы рекомендуется использовать для нарезания наружных резьб с углом подъема средней винтовой линии не более 5°, а при нарезании внутренних резьб — не более 3°, так как при больших углах происходит искажение формы боковой поверхности нарезаемых резьб.

Основное время для нарезания резьбы гребенчатой фрезой на резьбофрезерных станках

$$t_0 = \frac{1,2\pi d}{S_{\text{к}}}. \quad (150)$$

5.7. Шлифование резьбы

Необходимость в применении такого вида обработки диктуется требованиями повышенной точности и качества поверхности резьб, особенно на деталях, прошедших обычную закалку (резьбонарезной инструмент, калибры резьбовые, ролики накатные).

В зависимости от шага шлифование резьб может осуществляться с предварительной нарезкой их лезвийным инструментом и без нее. Резьба с шагом, равным и меньше 1,5 мм, шлифуется непосредственно на заготовке без предварительной прорезки профиля, а с шагом, большим 1,5 мм, шлифуется после предварительного нарезания одним из

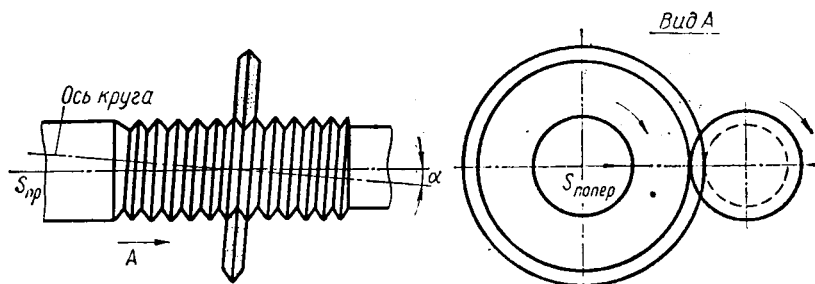


Рис. 146. Схема шлифования резьбы одностичным кругом

ранее рассмотренных методов. Шлифование резьбы производится на резьбошлифовальных станках с использованием одно- и многониточных кругов.

Закрепленная на столе станка заготовка вместе со столом получает продольную подачу, равную шагу резьбы, и медленное вращение, являющееся движением круговой подачи. Периодическая поперечная подача перед каждым проходом и быстрый отвод круга от заготовки в конце прохода производятся перемещением шлифовальной бабки.

Основное время для шлифования резьбы одностичным кругом

$$t_0 = \frac{(l_0 + s_{вп} + l_n) a}{p n S_n} k, \quad (151)$$

где l_0 — длина резьбы, мм; $l_{вп} = 1 \div 3$ шага резьбы — длина врезания, мм; l_n — длина перебега, равная 1—3 шага резьбы, мм; p — шаг резьбы, мм; n — частота вращения заготовки, об/мин; a — припуск на шлифование, мм; S_n — поперечная подача на один проход (глубина шлифования), мм; k — коэффициент, учитывающий точность шлифования.

Наиболее высокую точность шлифования резьбы обеспечивает одностичный круг, устанавливаемый под углом к оси заготовки, равным углу подъема винтовой линии на среднем диаметре (рис. 146). Припуски под шлифование зависят от шага резьбы и с увеличением последнего могут достигать 1 мм.

Одностичный круг проще в заправке и позволяет шлифовать резьбы различного шага. При шлифовании резьб надо учитывать, что режимы резания находятся в зависимости от шага резьбы. Резьбы с шагом менее 1,5 мм следует шлифовать с большой глубиной резания и малой окружной скоростью вращения заготовки (порядка 0,2—0,7 м/мин). Крупные резьбы, наоборот, шлифуются с малой глубиной резания, т. е. с большим числом проходов и большой окружной (до 8 м/мин) скоростью вращения заготовки.

Шлифование резьбы многониточным кругом очень производительное, но менее точное и осуществляется только для резьб одного шага. Это объясняется тем, что многониточный круг вместо винтовой резьбы имеет ряд кольцевых канавок резьбового профиля, перпендикулярных оси круга, а следовательно, и оси шлифуемой резьбы. Шлифуются только короткие резьбы. Ширина круга должна быть на 2—3 витка больше, чем длина резьбы.

Основное время шлифования резьбы многониточным кругом

$$t_0 = \frac{\pi d n_m}{1000 V}, \quad (152)$$

где d — наружный диаметр резьбы, мм; V — скорость вращения заготовки, м/мин; $n_m = 2,2$ об/мин — частота вращения заготовки за время нарезания резьбы. Для резьб невысокой точности можно применять бесцентровое шлифование, которое аналогично фигурному бесцентровому шлифованию.

Перед шлифованием многониточный круг устанавливается таким образом, что его ось параллельна оси заготовки. В процессе шлифования боковые стороны круга подрезают профиль резьбы, причем с увеличением шага и угла подъема возможность подрезания увеличивается. Это приводит к получению неточной резьбы и естественному выводу о том, что данный способ не пригоден для шлифования резьб крупного профиля и с большим углом подъема винтовой линии. Трудность в правке витков многониточного круга сказывается на технологических возможностях его применения, поэтому минимальный шаг резьбы, которую можно им шлифовать, составляет 0,6—0,7 мм. Используется преимущественно для чернового шлифования. Чистовое шлифование резьб осуществляется односторонним кругом.

5.8. Накатывание резьбы

Метод накатывания резьбы принципиально отличен от ранее рассмотренных тем, что отсутствует снятие стружки при изготовлении резьбы. Образование резьбы при накатывании происходит за счет выдавливания некоторого объема металла из впадин и образования выступов, формирующихся рифленными канавками накатного инструмента (рис. 147). Накатывание используется чаще всего для изготовления крепежных резьб в условиях массового производства. Производительность в 15—25 раз выше, чем при нарезании резьб резьбонарезными головками. Можно накатывать резьбы среднего, а иногда и точного классов, что в значительной мере зависит от материала заготовки. К материалу предъявляются определенные требования относительно механических свойств и твердости, а именно: относительное удлинение должно находиться в пределах 8—25%, а колебание твердости допускается в пределах $HRC\ 33—37$. При относительном удлинении более 25% возможно течение металла вдоль оси заготовки, что приводит к искажению профиля.

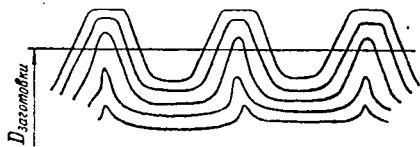


Рис. 147. Схема формирования резьбы при накатывании

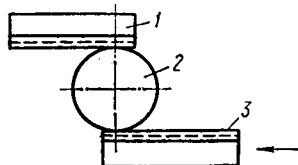


Рис. 148. Схема накатывания резьбы плоскими накатными плашками:

1 — плашка неподвижная; 2 — заготовка; 3 — плашка подвижная

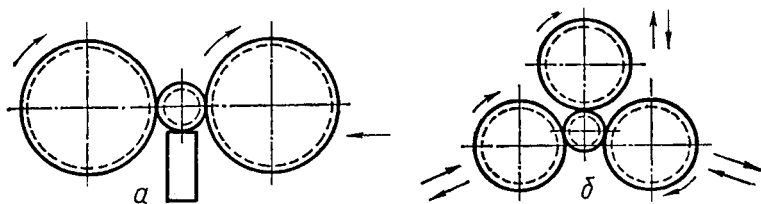


Рис. 149. Схема накатывания резьбы:
а — двумя роликами; б — тремя роликами

Накатывание может осуществляться при помощи плоских накатных плашек (рис. 148) и круглых накатных плашек-роликов (рис. 149). В обоих случаях пластические деформации сжатия материала заготовок при накатывании резьбы вызывают упрочнение поверхностного слоя резьбы. Накатанные резьбы имеют повышенные показатели механических свойств при испытаниях: предел прочности при растяжении увеличивается на 20%, усталостная прочность — на 25%, а износостойкость — на 50% по сравнению с нарезанной резьбой на аналогичных деталях и изделиях.

Накатывание резьбы дает значительную экономию металла. Диаметр заготовки выбирается приблизительно равным среднему диаметру резьбы. Стойкость резьбонакатного инструмента значительно выше стойкости резьбонарезного. Скорости накатывания находятся в пределах 30—50 м/мин.

К недостаткам можно отнести невозможность накатывания резьбы на заготовках любой формы и образование небольшой эллиптичности при накатывании резьбы на заготовках цилиндрической формы.

Глава 6

ОБРАБОТКА ПАЗОВ И ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

6.1. Виды пазов и методы их обработки

В зависимости от назначения пазы в машиностроении применяют следующих основных видов: прямоугольные или канавки, служащие чаще всего для передачи крутящего момента с помощью шпоночного соединения; Т-образные сквозные пазы; пазы по форме ласточкиного хвоста; пазы сложной формы.

Т-образные и в форме ласточкиного хвоста пазы используют для закрепления обрабатываемых деталей и приспособлений на столах станков с помощью специальных болтов и для непосредственного соединения отдельных, соответственно обработанных деталей.

Пазы сложной формы используются сравнительно редко и выполняются, главным образом, для специальных целей.

Шпоночные пазы или канавки могут изготавливаться для призматических и сегментных шпонок. Для призматических шпонок шпоночные пазы могут быть закрытыми с двух сторон (глухие), закрытыми с одной

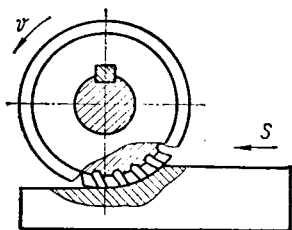


Рис. 150. Фрезерование сквозного паза

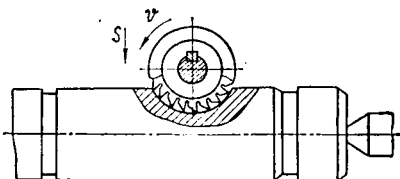


Рис. 151. Фрезерование под сегментную шпонку

стороны и сквозные. Шпоночные пазы обрабатывают дисковыми трехсторонними и концевыми или пальчиковыми фрезами. Режимы резания выбирают в зависимости от типа применяемой фрезы и величины ее жесткости. Обычно величина подачи при фрезеровании концевыми фрезами назначается меньше, так как эти фрезы обладают меньшей жесткостью по сравнению с дисковыми.

Сквозные шпоночные пазы обычно фрезеруют дисковыми трехсторонними фрезами за один проход со значительной подачей (рис. 150). Производительность такого фрезерования высокая и достижимая точность паза по ширине не ниже 4-го класса. Для повышения точности рекомендуется вести обработку в два прохода, используя на первом переходе дисковую фрезу, ширина которой на 1—2 мм меньше ширины канавки.

Пазы под сегментные шпонки фрезеруют специальными фрезами (рис. 151).

Фрезерование пазов концевыми фрезами может производиться тремя способами: 1) фрезерование за один проход; 2) фрезерование за несколько проходов (с «маятниковой» подачей); 3) фрезерование с качательными движениями фрезы.

При фрезеровании по первому методу концевая фреза получает сначала осевую подачу на всю глубину шпоночного паза, потом включается продольная подача и производится фрезерование на всю длину паза за один проход (рис. 152). При этом способе требуется мощный станок, прочное крепление фрезы и обильное охлаждение. Точность паза по ширине невысокая и все время понижается по мере увеличения числа переточек фрезы, которая работает, в основном, своей периферической частью и изнашивается по диаметру.

Основное время при фрезеровании закрытого с двух сторон шпоночного паза за один проход

$$t_0 = \frac{h + (0,5 \div 1)}{S_{м.в}} + \frac{l_0 - D_{\phi}}{S_{м.пр}}, \quad (153)$$

где h — глубина шпоночной канавки, мм; l_0 — длина шпоночной канавки, мм; D_{ϕ} — диаметр фрезы, мм; $S_{м.в}$ — вертикальная подача, мм/мин; $S_{м.пр}$ — продольная подача, мм/мин.

Более точные шпоночные пазы получают при применении второго способа. В этом случае применяют специальные шпоночно-фрезерные

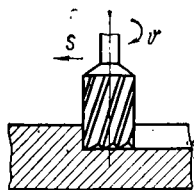


Рис. 152. Фрезерование шпоночного паза за один проход

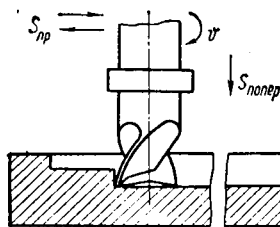


Рис. 153. Фрезерование шпоночного паза в несколько проходов

станки с «маятниковой» подачей и концевые спиральные фрезы с лобовыми режущими кромками (рис. 153).

Перед каждым проходом фреза углубляется на незначительную глубину (0,1—0,3 мм), включается продольная подача и канавка фрезеруется на всю длину. В конце канавки фрезерование останавливается, производится углубление на ту же глубину, что и в первом случае, и фрезеруется канавка опять на всю длину, но в обратном направлении. Так процесс повторяется до достижения заданной глубины канавки. Отсюда и происходит название данного способа — фрезерование с «маятниковой» подачей. Фреза в данном случае также имеет износ, поэтому точность после некоторого периода работы понижается.

Основное время при фрезеровании закрытого с двух сторон шпоночного паза с «маятниковой» подачей

$$t_0 = \frac{l_0 - D_{\phi} - (0,5 \div 1) h}{S_{м.пр} t}, \quad (154)$$

где t — величина вертикального врезания на один проход фрезы, мм.

При использовании третьего способа фрезе, кроме вращательного движения, сообщается еще и качательное движение. Износ фрезы в этом случае не влияет на точность изготовления паза, так как величину износа можно компенсировать регулировкой величины качания фрезы и получить весьма точный по ширине паз. Кроме этого, на точность глубины шпоночного паза и параллельность образующих поверхностей относительно оси детали значительное влияние оказывает выбор технологических баз. Например, при фрезеровании шпоночных пазов на валах необходимо стремиться в качестве технологической базы использовать центровые отверстия.

Шпоночные пазы в отверстиях втулок, шкивов, зубчатых и других колес в мелкосерийном и единичном производстве целесообразно

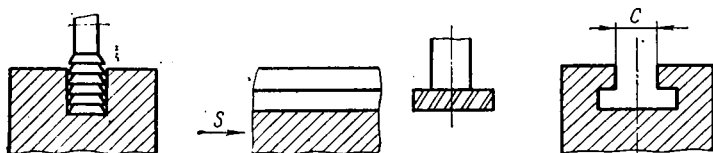
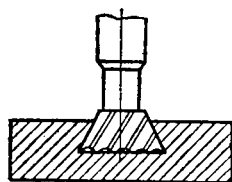
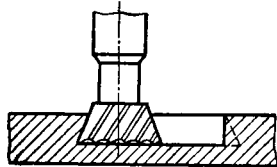


Рис. 154. Схема фрезерования Т-образного паза



a



б

Рис. 155. Фрезерование паза по форме ласточкиного хвоста:

a — в два перехода; *б* — в три перехода

обрабатывать на долбежных станках, а в серийном и массовом — на протяжных станках.

Основное время при протягивании шпоночного паза

$$t_o = \frac{L + l_d + (10 \div 30)}{1000V} i, \quad (155)$$

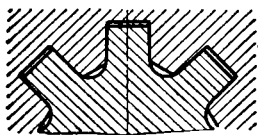
где L — рабочая длина протяжки, мм; l_d — длина протягиваемой поверхности детали, мм; V — скорость рабочего хода протяжки, м/мин; i — число проходов.

При обработке Т-образных пазов фрезерование ведется в две операции: предварительное фрезерование прямоугольного паза трехсторонней дисковой фрезой на горизонтально-фрезерном станке и фрезерование на вертикально-фрезерном станке полного профиля паза специальной концевой фрезой (рис. 154).

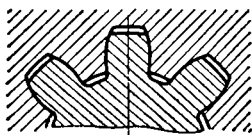
Пазы в форме ласточкиного хвоста фрезеруют угловыми фрезами соответствующего размера и профиля за один проход или за два перехода. Для первого перехода используют концевую или дисковую фрезу и получают прямоугольный паз, при втором переходе получают полный профиль угловой фрезой. Если размеры паза большие и размер фрезы не соответствует размеру паза, то обработка может производиться в три перехода, т. е. стороны паза обрабатывают поочередно (рис. 155).

6.2. Обработка шлицевых соединений

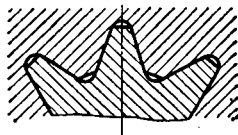
Шлицевые соединения служат для передачи вращательного движения и крутящего момента от одной детали машины к другой. В зависимости от требований они могут выполняться для посадок с натягом и зазором. По форме делятся на прямобочные, эвольвентные и треугольные (рис. 156). По сравнению со шпоночными имеют ряд преимуществ: детали на шлицевых валах лучше центрируются и направляются при передвижении их вдоль оси вала; прочность шлицевых валов при динамических и переменных нагрузках выше, чем валов со шпонками;



a



б



в

Рис. 156. Виды шлицевых соединений:

a — прямоугольные; *б* — эвольвентные; *в* — треугольные

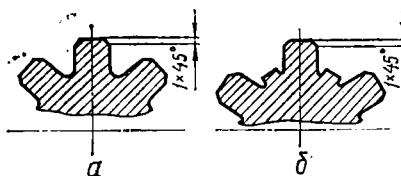


Рис. 157. Обработка выступов и канавок шлицевых поверхностей:

а — со снятием фаски; б — с углублением в виде канавок

удельные напряжения на смятие на гранях шлицев меньше, чем на поверхностях шпонок.

Шлицевые соединения центрируются: по наружному диаметру шлицев; по внутреннему диаметру шлицев; по боковым поверхностям шлицев.

Центрирование по боковым сторонам прямоугольных шлицев применяют для соединений с наружным диаметром от 25 до 90 мм в тех случаях, когда точность центрирования втулки не играет существенного значения и в то же время необходимо обеспечить достаточную прочность соединения в эксплуатации.

Если к соединению предъявляется высокая кинематическая точность передачи, центрирование шлицевых соединений производится по наружному и внутреннему диаметру. Например, в станкостроении,

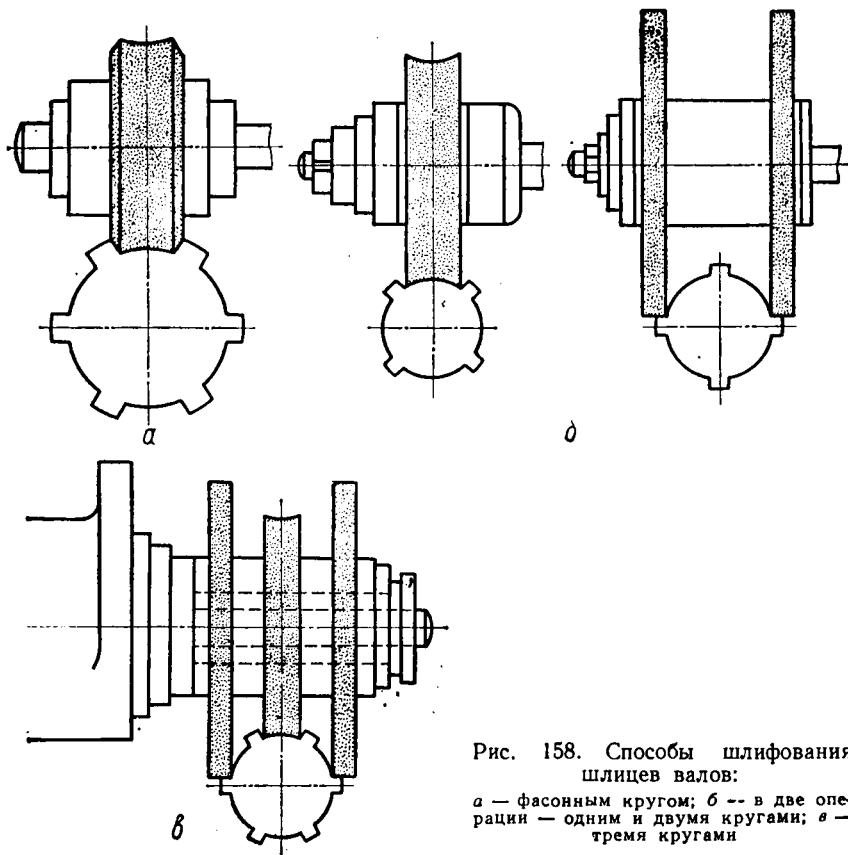


Рис. 158. Способы шлифования шлицев валов:

а — фасонным кругом; б — в две операции — одним и двумя кругами; в — тремя кругами

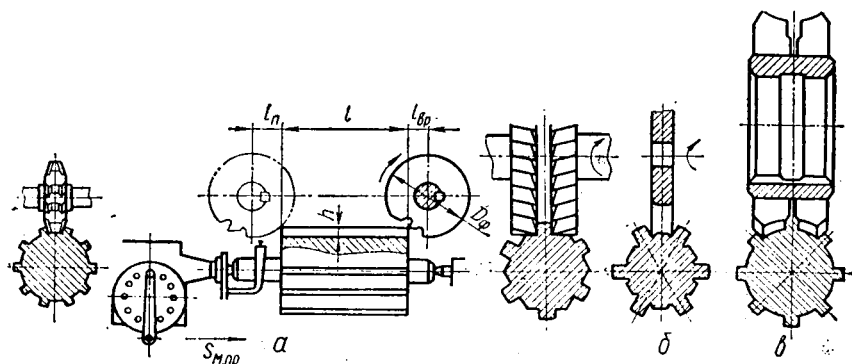


Рис. 159. Схемы фрезерования шлицев валов:

а — шлицевой дисковой фрезой; *б* — двумя фрезами; *в* — двумя дисковыми специальными фрезами

авто- и тракторостроении. Выбор наружного или внутреннего диаметра в качестве центрирующего определяется твердостью поверхностей шлицевых пазов и размерами соединения.

Если шлицевые пазы термически не обрабатываются или твердость поверхности позволяет производить калибрование после термообработки, можно применять центрирование по наружному диаметру. В противном случае центрирование производят по внутреннему диаметру.

При обработке длинных шлицевых валов рекомендуется производить их центрирование по внутреннему диаметру, поскольку в этом случае возможно одновременное шлифование боковых сторон и внутреннего диаметра вала.

В зависимости от способа центрирования шлицевых валов на их выступах или в уголках канавок делают фаски и скругления (рис. 157). Если центрирование производится по внутреннему диаметру и если необходимо обеспечить контакт боковых сторон зубьев вала и пазов отверстия по возможно большей поверхности, в углах впадин шлицевого вала делают канавки (рис. 157, б). Для этого применяется специальная червячная фреза с «усиками». Эти канавки необходимы также

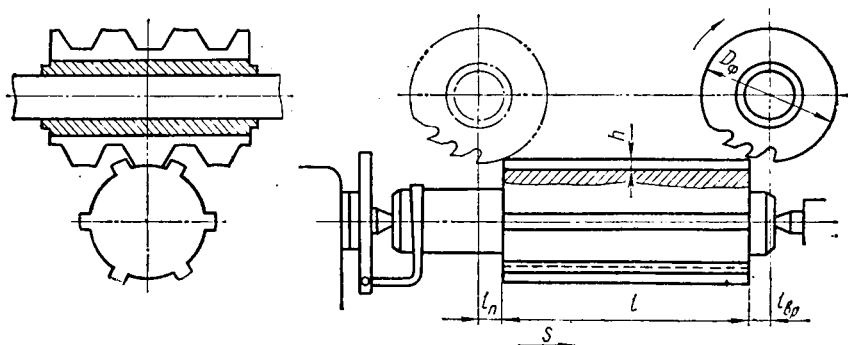


Рис. 160. Схема фрезерования шлицев валов шлицевой червячной фрезой

при шлифовании по боковым поверхностям и внутреннему диаметру.

Если к шлицевому соединению предъявляются требования повышенной точности центрирования и передачи значительных крутящих моментов, рекомендуется применять эвольвентное шлицевое соединение. Зуб эвольвентного соединения утолщается к основанию, благодаря чему он обладает повышенной прочностью. Качество поверхности эвольвентных зубьев шлицевого соединения выше по сравнению с прямолинейными за счет применения для их изготовления червячных фрез с прямолинейными режущими кромок.

Наибольшей точности и наименьшей шероховатости боковых поверхностей шлицевых соединений можно достичь шлифованием на специальных шлицешлифовальных станках (рис. 158). Шлицевые поверхности можно получить фрезерованием, строганием (рис. 159), протягиванием и холодным накатыванием.

Фрезерование производится червячной фрезой на шлицефрезерных или зубофрезерных станках методом обкатки (рис. 160). Это один из самых производительных и точных методов нарезания шлицев. Использование многозаходных фрез увеличивает производительность, но несколько понижает точность обработки.

Основное время при фрезеровании шлицев шлицевой червячной фрезой

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{rp} + l_n)}{S_0 n_{\Phi} q} Z i, \quad (156)$$

где l_0 — длина нарезаемых шлицев, мм; $l_{rp} = (1,1 - 1,2) \sqrt{h(D_{\Phi} - h)}$ — величина врезания, мм; h — высота шлица, мм; D_{Φ} — диаметр червячной фрезы, мм; $l_n = 2 \div 5$ мм — величина перебега; Z — число нарезаемых шлицев; i — число проходов; S_0 — подача фрезы на один оборот вала, мм; n — частота вращения фрезы, об/мин; q — число заходов фрезы.

Строгание шлицев на валах производится набором фасонных резцов, собранных в головке, профиль которых соответствует профилю впадины между шлицами вала.

Протягивание шлицев производится двумя блочными протяжками одновременно двух диаметрально противоположных впадин на валу с последующим поворотом вала на определенный угол после каждого хода протяжки (рис. 161).

Блок протяжки состоит из набора резцов-зубьев, которые имеют независимое радиальное перемещение. Метод позволяет протягивать как сквозные, так и несквозные шлицы.

Очень производительным методом получения шлицев является процесс холодного накатывания, при котором шлицы образуются пластическим деформированием без снятия стружки. Осуществляется накатка роликами, рейками и многороликовыми профильными головками (рис. 162). Прочность накатанных шлицев выше нарезанных на 10—20% за счет уплотнения их и наклепа. Холодной накатке подвергаются в основном шлицы эвольвентного профиля, так как для них проще изготовление накатных роликов. Материалом роликов служат высоколегированные стали марок Х12ФН или Х6ВФ.

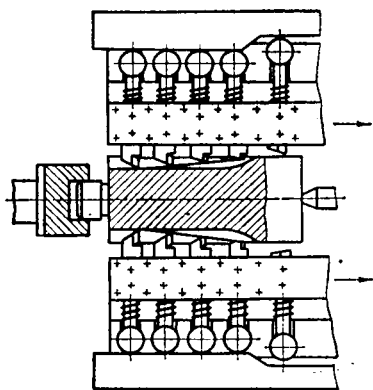


Рис. 161. Схема протягивания шлицев вала двумя блочными протяжками

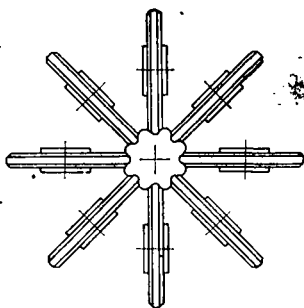


Рис. 162. Схема профильного накатывания шлицев

Окружная скорость роликов при накатке шлицев достигает 15—20 м/мин при диаметре начальной окружности 200 мм, ошибка по шагу небольшая (до 0,1 мм), а шероховатость $R_a = 0,63 \div 0,32$ мкм. Твердость металла для накатывания не должна превышать $HV\ 220$.

Шлицевые отверстия втулок предварительно обрабатывают сверлением и зенкерованием с подрезкой торца, после чего протягивается круглое отверстие и в конце протягиваются шлицы. Контроль шлицевых валов и втулок производится специальными шлицевыми профильными калибрами (кольцами, пробками, шаблонами) и универсальными приборами с делительной головкой, позволяющими проверить элементы шлицевых поверхностей.

Глава 7

ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

7.1. Характеристика степеней точности и методов нарезания зубчатых колес

По точности изготовления зубчатые колеса делятся на 12 степеней точности, которые располагаются в порядке понижения от 1 до 12. Для степеней точности 1,2 и 12 допуски и отклонения в стандарте не предусмотрены, так как первые две предусмотрены для будущего развития (сверхточные колеса), а последняя — для самой грубой обработки.

Выбор степени точности зубчатого колеса производится, исходя из конкретного назначения и условий работы зубчатой передачи. В машиностроении наиболее широкое применение нашли зубчатые колеса 6, 7, 8 и 9-й степеней точности.

Характеристикой степени точности зубчатых колес является не один какой-то показатель, а целый ряд их. К числу основных или нормированных относятся: кинематическая точность передачи вращения от

ведущего колеса к сопряженному с ним ведомому, плавность работы передачи, пятно контакта боковых поверхностей сопряженных зубьев и боковой зазор между нерабочими профилями зубьев.

Нормы кинематической точности определяют наибольшие погрешности угла поворота зубчатых колес за полный оборот при однопрофильном зацеплении с точным колесом. Причиной возникновения этой погрешности при нарезании колес являются погрешности взаимного расположения заготовки обрабатываемого колеса и режущего инструмента, а также кинематические погрешности станка. Кинематическая точность является основным требованием для делительных и отсчетных передач, а также планетарных передач с несколькими сателлитами.

Норма плавности работы зубчатого колеса определяет величины составляющих полной погрешности угла поворота зубчатого колеса, многократно повторяющихся за оборот колеса. Показателем плавности работы колес является циклическая погрешность, представляющая собой среднюю величину размаха колебаний кинематической погрешности зубчатого колеса по всем циклам за один оборот. Плавность работы — основное требование для высокоскоростных передач.

Нормы контакта зубьев определяют точность выполнения сопряженных зубьев в передаче.

Пятном контакта называется часть боковой поверхности зуба колеса, на которой располагаются следы прилегания его к зубьям парного колеса после вращения передачи при легком торможении. Норма точности определяется относительными размерами пятна контакта, выраженными обычно в процентах: по длине зуба — отношением расстояния X между крайними точками следов прилегания за вычетом разрывов X' , превосходящих величину модуля в мм, к полной длине L зуба $\left(\frac{X - X'}{L} \cdot 100\right)\%$; по высоте зуба — отношением средней высоты $H_{\text{ср}}$ пятна прилегания по всей длине зуба к рабочей высоте H_z зуба $\left(\frac{H_{\text{ср}}}{H_z} \cdot 100\right)\%$.

Полнота контакта зубьев имеет наибольшее значение для тяжело-нагруженных тихоходных передач.

Боковой зазор зубчатых колес определяется в сечении, перпендикулярном направлению зубьев, в плоскости, касательной к основным цилиндрам. Величина бокового зазора и колебания этой величины очень важны для реверсивных, отсчетных, съемных и других передач. Боковой зазор не зависит от точности зубообработки и определяется в основном величиной межосевого расстояния в передаче и толщиной зубьев колес.

Независимо от степени точности зубчатых колес и передач стандартами устанавливаются различные виды сопряжений зубьев в передаче. За основу деления по видам сопряжения принята величина гарантированного (наименьшего) бокового зазора $j_{\text{нmin}}$. Виды сопряжений установлены в зависимости от вида передачи и величины модуля. Для зубчатых цилиндрических, конических и гипоидных передач, а также червячных цилиндрических передач с модулем $m \geq 1$ мм установлено шесть видов сопряжений (рис. 163, а): с нулевым боковым зазором H ,

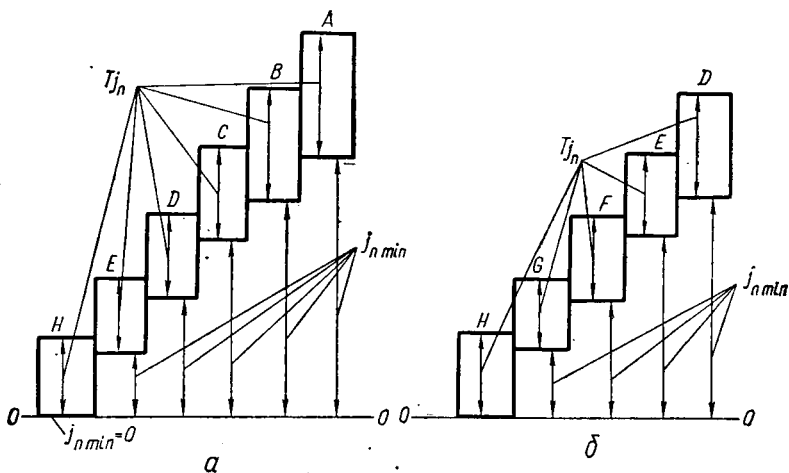


Рис. 163. Виды сопряжений:

а — для зубчатых цилиндрических, конических гипоидных и червячных цилиндрических передач с $m \geq 1$ мм; *б* — для мелко модульных цилиндрических передач с $m < 1$ мм

весьма малым боковым зазором *Е*, малым боковым зазором *Д*, уменьшенным боковым зазором *С*, нормальным боковым зазором *В*, увеличенным боковым зазором *А*.

Для цилиндрических передач с модулем $m < 1$ мм установлено пять видов сопряжений (рис. 163, б): *Н*, при котором $j_{nmin} = 0$; а также *Г*, *Ф*, *Е*, *Д*, при которых $j_{nmin} > 0$.

Для зубчатых цилиндрических и червячных передач при модуле $m \geq 1$ мм стандартами установлено восемь видов допусков на боковой зазор Tj_n : *h*, *d*, *c*, *b*, *a*, *z*, *y*, *x* (обозначения расположены в порядке возрастания величины допуска); для конических и гипоидных передач при модуле $m \geq 1$ мм — пять видов допусков: *h*, *d*, *c*, *b*, *a*. Для цилиндрических передач с модулем $m < 1$ мм установлено четыре вида допусков Tj_n : *h*, *g*, *f*, *e* (обозначения расположены в порядке увеличения величины допуска).

Точность изготовления зубчатых и червячных колес и передач задается степенью по нормам кинематической точности, плавности работы и контакту зубьев в передаче, а требования к боковому зазору — видом сопряжения и видом допуска бокового зазора.

Условные обозначения на чертежах степеней точности, видов сопряжений и видов допусков бокового зазора в зависимости от вида передач и величины модуля регламентируются ГОСТ 1643—72, СТ СЭВ 186—75 и СТ СЭВ 311—76.

В зависимости от требуемой степени точности для изготовления зубчатых колес выбираются фрезы соответствующего класса (табл. 8).

В зубчатых передачах регламентируются также некоторые эксплуатационные качества, в частности, шум работающей передачи при высоких окружных скоростях под нагрузкой и на холостом ходу, вибрация передачи, вызванная погрешностями изготовления и динамической неуравновешенностью вращающихся масс.

Степень точности колеса	5 и 6	7 и 8	9	10
Класс фрезы	AA	A	B	C

В зависимости от предъявляемых требований и размеров колес нарезание зубьев может производиться за одну операцию без разбивки на черновую и чистовую, за две и за три, где третьей операцией является отделка боковых поверхностей зубьев.

Зубчатые колеса малых модулей обрабатываются за одну операцию ($m = 2 \div 3$ мм). Увеличение модуля и ужесточение степени точности требует применения двух и даже трех операций.

Существует два принципиально различных метода нарезания зубчатых колес: копирование и обкатка.

По методу копирования профиля режущего инструмента обработка производится дисковыми или пальцевыми модульными фрезами, многолезцовыми зубодолбежными головками, шлифовальными фасонными кругами и т. п.

При методе обкатки профиль боковых поверхностей зубьев нарезаемого колеса получается как огибающая определенного количества последовательных положений режущих кромок инструмента. При этом заготовке сообщается принудительное вращение, строго согласованное с вращением режущего инструмента, обеспечивающее их непрерывное зацепление во время нарезания и определенное соотношение угловых скоростей, необходимое для получения правильного зуба.

Нарезание и отделка зубьев цилиндрических колес по методу обкатки производятся червячными фрезами на зубофрезерных станках, долбками на зубодолбежных станках, зуборезными гребенками, шеверами, шлифовальными кругами и т. п.

Достоинства метода обкатки: высокая производительность и точность нарезки зубьев по окружному шагу; возможность одним инструментом обрабатывать колеса одного и того же модуля с любым числом зубьев; возможность нарезать коррегированные зубья.

Недостатком метода следует считать высокую стоимость применяемых инструментов, которая оправдывает себя преимущественно в крупносерийном производстве.

7.2. Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес модульными фрезами

Процесс представляет разновидность фасонного фрезерования. Режущие кромки фрезы обычно дисковой или концевой (пальчиковой) выполняются в соответствии с профилем впадины между зубьями. Впадины фрезеруются последовательно (рис. 164). Метод малопроизводителен и присущ единичному и мелкосерийному производству.

Стандартом предусмотрены комплекты дисковых фрез для каждого отдельного модуля из 8, 15 и 26 штук фрез, которыми с небольшой,

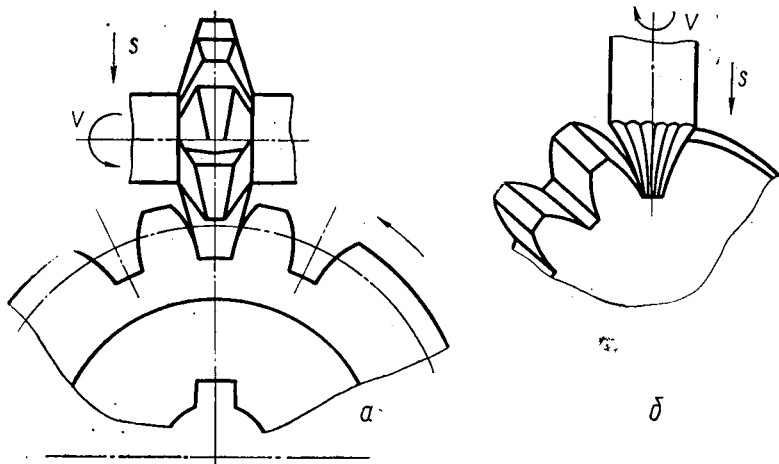


Рис. 164. Нарезание зубьев зубчатых колес:
а — дисковой фрезой; б — пальцевой фрезой

укладывающейся в пределы допуска погрешностью можно нарезать зубчатые колеса с различным числом зубьев.

Точность нарезания зубьев дисковыми и концевыми модульными фрезами невысокая. Это обуславливается следующими причинами: 1) неточностью профилирования фрез при их изготовлении для различного числа зубьев; 2) погрешностями установки фрез относительно оси нарезаемого колеса; 3) неточностью делительных приспособлений, применяемых для поворота на один зуб при нарезании колеса. Концевые фрезы работают в худших условиях, так как из-за их консольного закрепления усилие подачи вызывает изгибающий момент.

Как дисковые, так и концевые модульные фрезы очень быстро уменьшаются в диаметре из-за износа, поэтому точность с течением времени понижается. Скорости резания невысокие, порядка 5—15 м/мин, а подачи — 0,1 мм на оборот фрезы.

Более жесткие фрезы позволяют работать на повышенных режимах.

7.3. Нарезание зубьев на зубодолбежных станках

В зависимости от применяемого инструмента нарезание подразделяется на метод одновременного долбления всех впадин между зубьями обрабатываемого колеса и метод последовательной обработки зубьев колеса. При нарезании зубьев по первому методу для каждого обрабатываемого колеса в соответствии с его модулем и числом зубьев должна быть изготовлена специальная зубодолбежная головка, оснащенная фасонными резцами (рис. 165). Для нарезания зубьев по второму методу используются круглые долбяки.

Особенности первого метода, заключающиеся в сложности изготовления инструмента и узкой специализации производства при его применении, экономически себя оправдывают только в крупносерийном и массовом производстве для чистовой обработки колес 7 и 8-й степени

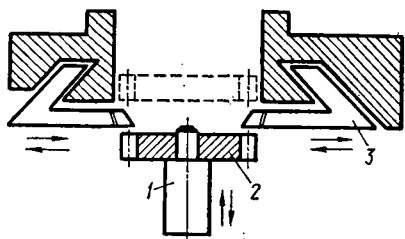


Рис. 165. Схема нарезания зубьев цилиндрических колес многорезцовыми зубодолбежными головками:

1 — штоссель подвижный (станка); 2 — колесо зубчатое; 3 — резцы

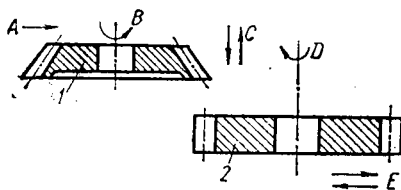


Рис. 166. Схема зубодолбления долбяком

точности, а также для полустогового нарезания под шевингование. Движение подачи осуществляется в радиальном направлении за счет перемещения резцов после каждого рабочего хода заготовки. Величина подачи в начале работы резцов устанавливается до 0,4 мм на двойной ход, а в конце уменьшается до 0,025 мм на двойной ход.

Для устранения трения резцов об обработанную поверхность перед ходом заготовки вниз резцы разводятся на 0,5 мм, чем обеспечивается низкая шероховатость поверхности. Резцы взаимозаменяемые и представляют собой инструмент, не изменяющий своего профиля при переточках, т. е. фасонный инструмент. Скорость резания от 3 до 10 м/мин.

Отечественные конструкции зубонарезных головок позволяют нарезать колеса с модулем от 2 до 10,5 мм, числом зубьев 20—50 и наружным диаметром до 250 мм.

Использование круглых долбяков на зубодолбежных станках позволяет нарезать цилиндрические зубчатые колеса с наружными прямыми, косыми и шевронными зубьями, зубчатые секторы и рейки, а также колеса с внутренними прямыми и косыми зубьями, многовенцовые зубчатые колеса как наружные, так и внутренние.

Операция зубодолбления по сравнению с зубофрезерными обеспечивает несколько большую точность нарезания зубьев по профилю и может подразделяться на обдирочную, полустоговую и чистовую, выполняемые соответствующим инструментом — обдирочными, полустоговыми и чистовыми долбяками. Нарезание прямозубых и косозубых колес производится соответственно прямозубыми и косозубыми долбяками.

Нарезание зубьев долбяками основано на принципе воспроизводства зацепления пары цилиндрических зубчатых колес (рис. 166). Каждому повороту долбяка 1 на один зуб должен соответствовать поворот на один зуб нарезаемого колеса 2. Долбяк и наружное колесо находятся в зацеплении без зазора и соответствуют зубчатой передаче с передаточным числом

$$i = \frac{Z_d}{Z_k} = \frac{n_d}{n_k}, \quad (157)$$

где Z_d — число зубьев долбяка; n_d — частота вращения долбяка, мм; Z_k — число зубьев нарезаемого колеса; n_k — частота вращения нарезаемого колеса, мм.

Долбяк и нарезаемое колесо непрерывно вращаются вокруг своих осей, совершая движения обкатывания (B ; D) с одинаковой окружной скоростью (круговая подача). Возвратно-поступательное движение C и движение A на требуемую величину осуществляются только долбяком. Движение E , осуществляемое нарезаемым колесом, устраняет возможность зацепления долбяком обработанной поверхности колеса при движении долбяка вверх. Этим предохраняется преждевременное затупление инструмента и порча обрабатываемой поверхности заготовки.

При нарезании цилиндрических колес с косыми зубьями долбяки должны иметь тот же угол наклона зубьев, что и нарезаемое колесо, но с противоположным направлением винтовой линии. Конструкция долбяка предусматривает снятие наибольшей стружки режущей кромки при вершине зуба долбяка, которая первая заходит в зацепление. Боковые режущие кромки снимают сравнительно небольшую стружку, формируют профиль зуба и обеспечивают ему требуемую точность. Кроме того, точность зубодолбления увеличивается в том случае, если диаметр делительной окружности долбяка взят минимально возможным. Объясняется это тем, что прочность такого долбяка больше, а, следовательно, устойчивость системы выше. Однако основную роль в этом случае играет возможность поворота долбяка несколько раз за период нарезания колеса (соответственно отношению количества зубьев долбяка и колеса) и тем самым происходит выравнивание ошибки по всему венцу.

Нарезание зубьев долбяками может состоять из черногого зубодолбления с круговой подачей $S_{кр} = 0,25 \div 0,50$ мм и чистового с круговой подачей $S_{кр} = 0,10 \div 0,35$ мм на двойной ход долбяка.

Радиальная подача врезания обычно принимается $S_{рад} = 0,10 \div 0,25 S_{кр}$. Скорость резания при долблении зависит от обрабатываемого материала и стадии обработки и обычно выбирается в широких пределах (10—40 м/мин). Основное время при зубодолблении состоит из времени радиального врезания с подачей $S_{рад}$ и времени полной обработки зубчатого венца при выбранной круговой подаче $S_{кр}$. Время врезания

$$t_{вр} = \frac{h}{S_{рад} n_{дв}}, \quad (158)$$

где h — глубина резания, мм (при долблении зубьев в один проход равна высоте зуба); $n_{дв}$ — число двойных ходов долбяка в минуту.

Время полной обработки зубчатого венца (время обкатки) составляет для одного прохода

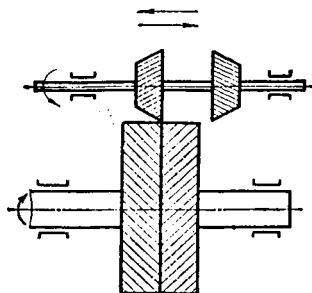
$$t_{обр} = \frac{\pi m Z}{S_{кр} n_{дв}}, \quad (159)$$

где $\pi m Z$ — длина делительной окружности нарезаемого колеса, мм. Если нарезание колеса будет осуществлено не за один, а за i проходов, то основное время

$$t_0 = \frac{h}{S_{рад} n_{дв}} + \frac{\pi m Z}{S_{кр} n_{дв}} i = \frac{1}{n_{дв}} \left(\frac{h}{S_{рад}} + \frac{\pi m Z i}{S_{кр}} \right), \quad (160)$$

где h — высота зуба, мм; i — число проходов.

Рис. 167. Схема нарезания цилиндрических зубчатых колес с шевронными зубьями круглыми долбьями



Зубодолбление позволяет нарезать зубья цилиндрических колес любого типа, т. е. имеет большую универсальность. Шероховатость поверхности ниже, а точность зубьев по профилю выше, чем при зубофрезеровании.

Зубодолбление шевронных колес производится на специальных станках спаренными косозубыми круглыми долбьями — правым и левым (рис. 167). Правый долбьяк нарезает венец с левым направлением зубьев, а левый долбьяк — с правым направлением зубьев. Долбьяки совершают попеременно возвратно поступательное движение параллельно оси заготовки. Для обкатывания долбьяки и обрабатываемое колесо получают согласованное вращательное движение. При холостых ходах долбьяки отводятся в сторону с помощью специальных кулачков.

7.4. Нарезание зубьев червячными фрезами

Нарезание зубьев червячными фрезами производится на зубофрезерных станках, на которых можно обрабатывать колеса как с наружными прямыми и косыми зубьями, так и с внутренними, используя в последнем случае специальную приставную головку. Инструментом являются червячные фрезы, представляющие собой эвольвентный червяк с продольными канавками (8—12 штук) и затылованными зубьями.

По роду обработки и степени точности червячные фрезы делятся на черновые, чистовые и прецизионные. Для повышения производительности обработки червячные фрезы можно изготавливать многозаходными.

В основе процесса зубофрезерования лежит принцип обкатывания фрезы и заготовки в период нарезания зубьев. При этом для получения движения обкатывания необходимо, чтобы каждому обороту фрезы соответствовал поворот колеса на число зубьев, равное числу заходов червячной фрезы. Передаточное число воспроизводимой при этом червячной передачи

$$i = \frac{Z}{k_{\phi}} = \frac{n_{\phi}}{n_k}, \quad (161)$$

где Z — число зубьев нарезаемого колеса; k_{ϕ} — число заходов червячной фрезы; n_{ϕ} — частота вращений фрезы, мин; n_k — частота вращения нарезаемого колеса, мин.

Схема зубофрезерования (рис. 168) показывает все виды движений фрезы и заготовки колеса.

Главное движение резания I . Кроме него в схеме имеется движение деления IV , движение подачи фрезы II , а также движение для предварительной установки инструмента и обрабатываемого колеса в исходное

Рис. 168. Схема зубофрезерования:
1 — фреза червячная; 2 — колесо нарезаемое

рабочее положение (вспомогательное движение III). В некоторых конструкциях станков установочно-вспомогательное движение III осуществляется перемещением колонны с фрезерным суппортом.

Точность зубофрезерования в значительной мере зависит от точности установки режущего инструмента и правильного выбора баз для закрепления заготовки. Поэтому червячные фрезы обычно центрируются на фрезерной оправке по установочному калибру для каждого модуля нарезаемого колеса.

Поворотные салазки фрезерного суппорта поворачиваются на угол установки γ , определяемый из условия совпадения в точке касания на делительном цилиндре направления витков червячной фрезы и зубьев нарезаемого колеса. В зависимости от вида нарезаемых колес, направления витков винтовой линии зубьев колеса и витков фрезы угол установки γ может иметь различную величину (рис. 169).

При нарезании прямозубых колес угол установки γ равен углу подъема λ витков червячной фрезы на делительном цилиндре ($\gamma = \lambda$). Угол $\gamma = \beta - \lambda$ при нарезании косозубых колес с одинаковыми направлениями винтовой линии зубьев колеса и витков фрезы. При разных направлениях винтовой линии зубьев колеса и витков фрезы угол установки $\gamma = \beta + \lambda$, где β — угол наклона винтовой линии зубьев нарезаемого колеса на делительном цилиндре.

В качестве технологических баз заготовки нарезаемого колеса обычно служат посадочное отверстие и торец при наличии центрального отверстия в колесе, а при обработке валов-шестерен — рабочие шейки и их центровые отверстия.

Базовым торцом заготовки выбирается тот, который обрабатывается за одну установку с посадочным отверстием. Посадочное отверстие выполняется, как правило, по 6-му, реже по 8-му качеству точности.

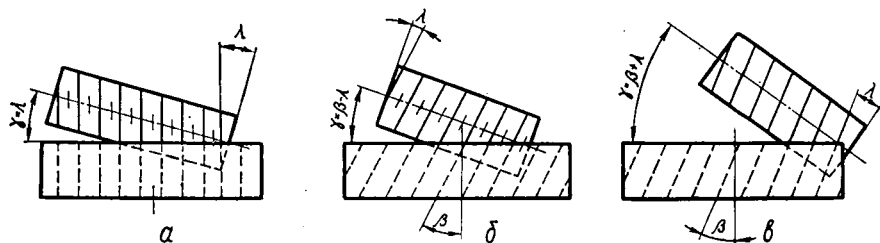
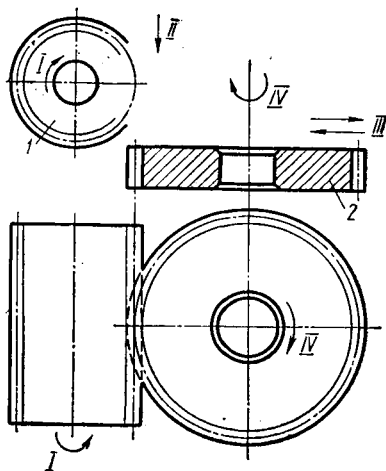


Рис. 169. Схема установки червячной фрезы:

а — при нарезании прямозубых колес; б и в — при нарезании косозубых колес

Закрепляются заготовки зубчатых колес в специальных приспособлениях. Конструкции приспособлений зависят от размеров нарезаемых колес, базирования и применяемого инструмента. Общие требования к ним: опорные поверхности должны быть как можно ближе к месту приложения усилия резания; центрирующие элементы не должны выполнять функций закрепления детали, так как в противном случае возможно смещение заготовки при зажиме; центрирующие и опорные поверхности должны быть доступны для очистки от стружки.

Нарезание зубьев червячными фрезами может осуществляться за один и два прохода. Критерием для установления количества проходов является модуль колес. Обычно назначают один проход при обработке зубчатых колес 7 и 8-й степени точности с модулем до 3—5 мм. Зубчатые колеса с модулем больше 5—6 мм обрабатываются в два прохода: первый — с глубиной резания, равной 0,6—0,7 высоты зуба, а второй — с глубиной резания, равной 0,4—0,3 высоты зуба. При однопроходном нарезании зубьев червячная фреза устанавливается на глубину резания, равную полной высоте зуба. Чистовое нарезание обычно производится за один проход. Величина припуска под чистовое фрезерование назначается также в зависимости от модуля. Для колес с модулем 2—6 мм припуск составляет 0,4—0,6 мм, а для колес с модулем 10—20 мм припуск 1,2—1,5 мм.

Подача на один оборот заготовки при черновом фрезеровании лимитируется жесткостью станка и приспособления и при использовании обычных фрез колеблется в пределах 1—2 мм. Специальные фрезы типа «Прогресс» работают с подачами $S_0 = 4 \div 5$ мм.

При чистовом фрезеровании стальных колес подача $S_0 = 0,6 \div 1,25$ мм на оборот заготовки, а для чугунных колес увеличивается вдвое. Скорость резания для быстрорежущих однозаходных фрез при черновом фрезеровании находится в пределах 20—35 м/мин, а при чистовом — в пределах 40—80 м/мин.

Длина хода фрезы на рабочей подаче при фрезеровании прямоугольных колес

$$L_{p.x} = l_{рез} + l_{доп} + l_{вр}, \quad (162)$$

где $l_{рез}$ — длина резания, мм; $l_{доп}$ — величина подвода пробег фрезы, мм; $l_{вр}$ — величина пути врезания фрезы, мм

$$l_{вр} = \frac{\sqrt{h(d_{\phi} - h)}}{\cos \lambda}, \quad (163)$$

где h — глубина резания, мм; d_{ϕ} — наружный диаметр фрезы, мм; λ — угол подъема винтовой линии червячной фрезы.

За один оборот стола с заготовкой фреза перемещается на S_0 (подача). Длину рабочего хода $L_{p.x}$ она пройдет за $\frac{L_{p.x}}{S_0}$ оборотов стола. Частота вращения фрезы при этом: за один оборот стола $\frac{Z}{K_{\phi}}$, а за $\frac{L_{p.x}}{S_0}$ оборотов стола $\frac{L_{p.x}}{S_0} \cdot \frac{Z}{k_{\phi}}$, где k_{ϕ} — число заходов червячной фрезы.

При скорости вращения фрезы n_ϕ об/мин основное время

$$t_0 = \frac{ZL_{p.x}}{S_0 K_\phi n_\phi} . \quad (164)$$

При нарезании косозубых колес с углом наклона зубьев β основное время увеличится соответственно увеличению длины зуба и уменьшению осевой подачи в $\frac{1}{\cos \beta}$ раз. Основное время в данном случае определится

$$t_0 = \frac{ZL_{p.x}}{S_0 K_\phi n_\phi \cos \beta} . \quad (165)$$

Метод зубофрезерования по сравнению с другими методами изготовления зубчатых колес имеет ряд преимуществ: незначительные местные деформации венца нарезаемого колеса благодаря непрерывности процесса и постепенному увеличению нарезанных участков по длине зубьев; отсутствие пульсации нагрузки, так как в процессе непрерывного резания участвуют одновременно несколько зубьев, а инерционные усилия незначительны; погрешность изготовления фрезы равномерно распределяется по всем зубьям обрабатываемого колеса, что положительно сказывается на его эксплуатационных показателях; возможность нарезать колеса самых больших модулей.

К недостаткам, свойственным зубофрезерованию, относятся: шероховатость поверхности больше по сравнению с другими методами зубонарезания; возможность подрезки ножек зубьев, которая увеличивается по мере уменьшения числа зубьев на нарезаемом колесе; сложность изготовления и заточки фрез; невозможность нарезки зубьев на многовенцовых шестернях, а также и одновенцовых в недоступном месте для выхода фрезы.

7.5. Способы повышения производительности зубофрезерования

Неблагоприятные условия работы фрезы и несовершенство ее конструкции не позволяют применять при зубофрезеровании большие скорости резания и подачи. Это по сравнению с другими видами обработки металлов сдерживает производительность труда. В целях улучшения загрузки режущих кромок фрезы, а следовательно, и увеличения производительности зубофрезерования прибегают к использованию способа зубофрезерования с большими подачами.

Если для нарезания зубьев используется червячная фреза обычной конструкции, то зубья ее загружены неравномерно. Это выражается в том, что в работе участвует $\frac{1}{6}$ всего периметра режущих кромок и только около 3% всего периметра целесообразно (рис. 170, а). Основная работа приходится на ту режущую кромку, которая сначала врезается в заготовку. В то же время противоположная режущая кромка, работающая на выходе фрезы, нагружена меньше. Вершинные кромки фрезы загружены больше, чем боковые.

Каждый зуб фрезы снимает во впадине заготовки слой металла определенной формы и размеров, причем длины и толщины срезов металла

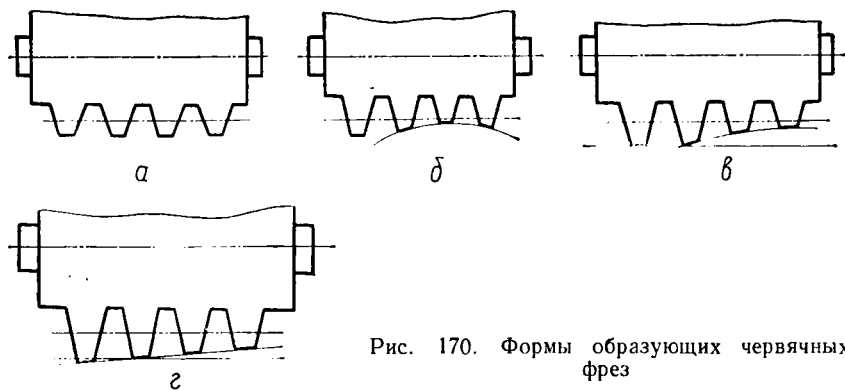


Рис. 170. Формы образующих червячных фрез

различны. Они зависят от величины подачи, глубины резания, размеров обрабатываемого колеса и инструмента. Чем дальше отстоит зуб фрезы от центрального, лежащего на линии, перпендикулярной к осям фрезы и заготовки, тем более толстую стружку он срезает. Из числа работающих зубьев фрезы первым резание начинает наиболее удаленный от центрального.

Неравномерность нагрузки на режущие кромки и непостоянство усилий резания приводят к неравномерному износу режущих кромок зубьев фрезы. Перераспределение нагрузок на вершинных кромках зубьев достигается изменением их высот. Для того, чтобы эти кромки зубьев фрезы снимали слои металла одинаковой толщины, образующая фрезы должна иметь криволинейную форму. Например, высокопроизводительная червячная фреза «Прогресс» имеет эллиптическую образующую. Обработка такими фрезами производится с подачами $S_0 = 4 \div 6$ мм на оборот заготовки (рис. 170, б, в).

Фрезу, образующая которой имеет параболическую форму, называют фрезой равного износа. Допускаемые подачи при ее использовании $S_0 = 8 \div 10$ мм на оборот заготовки.

Крупномодульные зубчатые колеса рекомендуется фрезеровать червячными фрезами с обратным конусом (с конусом на выходе). Эти фрезы также построены по принципу выравнивания нагрузки на зубьях. Корректировка образующих осуществляется по наклонным прямым — образующим конуса (рис. 170, г).

Центральные зубья всех фрез с распределенной нагрузкой должны устанавливаться так, чтобы они находились на линии, перпендикулярной к осям фрезы и заготовки.

Недостатком фрезерования с большими подачами фрезами с высотной коррекцией является высокая шероховатость обрабатываемых поверхностей. Для устранения этого недостатка предложен ряд конструкций фрез для чистового фрезерования с уменьшенным углом профиля зубьев. Например, фреза «Победа» имеет угол профиля 10° , а фреза «Байкал» — нулевой угол профиля. Чистовая обработка такими фрезами производится с подачами $S_0 = 4 \div 5$ мм на оборот заготовки.

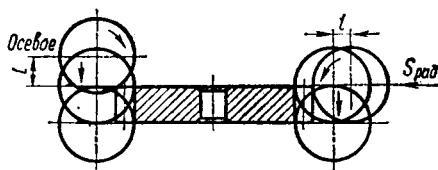


Рис. 171. Схема зубофрезерования с радиальным врезанием фрезы

К другим способам повышения зубофрезерования можно отнести зубофрезерование с радиальным врезанием фрезы, скоростное и попутное фрезерование. Так как в состав основного времени на зубофрезерование входит и время на врезание, выраженное через $L_{р.х}$, то, естественно, для увеличения производительности надо стремиться к его сокращению. Время врезания зависит от длины пути врезания и величины подачи. Оно может достигать до 50—75% времени резания для средне-модульных прямозубых колес.

Увеличение подачи с целью сокращения времени врезания не всегда возможно из-за возрастания неравномерности в работе фрезы. В целях уменьшения длины пути врезания примерно на 30% ($l_1 < l$ на 30%) рекомендуется осевое врезание заменить радиальным (рис. 171).

Скоростное зубофрезерование производится специальными сборными острозаточенными фрезами с механическим креплением пластинок из быстрорежущей стали и твердого сплава. Заточка таких фрез производится по задним поверхностям, подвергающимся наибольшему износу. Для увеличения стойкости такой фрезы задний угол увеличивают до 10° . Замену выкрошенного зуба можно производить, не снимая фрезы со станка. Допустимые скорости резания такими фрезами $V = 185 \div 300$ м/мин с подачами до 5 мм на оборот заготовки. Это повышает производительность в 5—10 раз.

Попутное зубофрезерование имеет преимущество перед встречным, заключающееся в том, что зуб фрезы начинает резать в точке I наружной поверхности, где стружка имеет максимальную толщину. Двигаясь по направлению подачи ко дну впадины AB , зуб снимает стружку уменьшающейся толщины. В этом случае скольжение режущей кромки фрезы отсутствует, силы трения уменьшаются, а стойкость фрезы

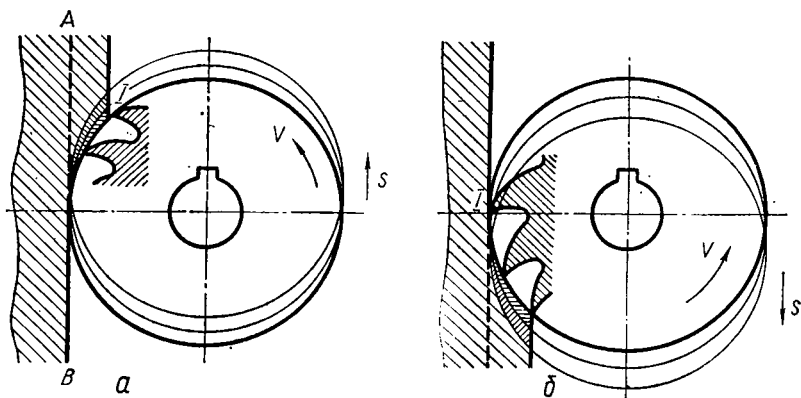


Рис. 172. Схема зубофрезерования:
а — попутное; б — встречное

увеличивается. За счет этих улучшенных условий резания при попутном фрезеровании можно повысить подачу на один оборот изделия в 1,5—2 раза, а скорость — на 25—40% по сравнению с применяемыми при встречном фрезеровании (рис. 172).

7.6. Нарезание зубьев гребенками

Гребенками можно произвести нарезку прямозубых, косозубых и шевронных колес по методу обкатки. Для нарезания прямозубых и косозубых колес гребенкой используют вертикальные зубострогальные станки, а для нарезания шевронных колес — горизонтальные зубострогальные станки.

Зубострогальные станки обычно используют для нарезания больших колес с модулями до 60 мм и диаметрами до 12 000 мм. Все зубчатые колеса одного модуля нарезаются одной гребенкой, представляющей собой зубчатую рейку с соответствующей заточкой режущих зубьев. В процессе работы гребенка, закрепленная в ползуне, совершает возвратно-поступательное движение *I* (рис. 173).

Движение обкатывания сообщается обрабатываемому колесу, для чего стол станка с обрабатываемой заготовкой получает два взаимно согласованных движения — вращательное *II* и поступательное *III* вдоль гребенки. Гребенка соприкасается с заготовкой только при рабочем ходе; при обратном ходе (вверх) гребенка отводится от заготовки поворотом резцедержателя (движение *IV*).

Механизм обкатывания работает только тогда, когда гребенка выходит из зацепления с обрабатываемым колесом. Во время резания стол остается неподвижным и, следовательно, механизм обкатывания разгружен от усилий резания. Это способствует меньшему износу механизма, что в конечном итоге положительно отражается на точности обработки колес.

Косозубые колеса нарезаются теми же гребенками, что и прямозубые, но головка ползуна в этом случае поворачивается на угол, равный углу наклона винтовой линии зубьев нарезаемого колеса. Число проходов при нарезании прямозубых и косозубых колес зависит от ве-

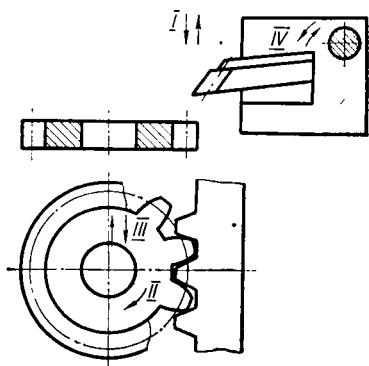
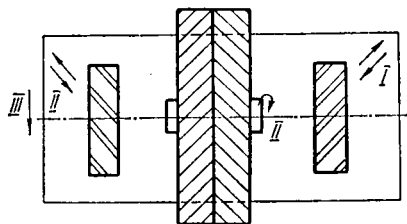


Рис. 173. Схема и направление основных движений при нарезании прямозубых колес зубчатыми гребенками

Рис. 174. Схема нарезания зубофрезерными гребенками шевронных колес



личины их модуля. Зубчатые колеса с модулем до 7 мм нарезаются за один проход, с модулем 8—14 мм — за два прохода, а свыше 14 мм — за три и более проходов. Подача на один двойной ход устанавливается в пределах 0,1—1,0 мм. Скорость резания находится в пределах от 10 до 20 м/мин.

Шевронные колеса нарезаются двумя косозубыми гребенками — правой и левой, получающими возвратно поступательное движение *I* (рис. 174). Гребенки работают поочередно. При этом правая гребенка нарезает сторону шеврона с левым направлением зуба, а левая — с правым направлением зуба. Конечное положение гребенок при рабочем ходе должно точно совпадать со средней плоскостью зубьев нарезаемого колеса.

Движение обкатывания получается в результате вращения *II* нарезаемого колеса и вертикального (тангенциального) перемещения *III* суппорта с гребенками. Эти движения взаимно согласованы. Стружка, сдвинутая в угол шеврона одной гребенкой, удаляется другой гребенкой. За время поворота колеса на один зуб суппорт с гребенкой перемещается на величину, равную шагу нарезаемого колеса. Обработка производится за 2—6 проходов с небольшими подачами 0,1—0,4 мм на один двойной ход гребенки. Это обусловлено тем, что выход для режущих кромок в конце рабочего хода затруднен.

7.7. Нарезание зубьев червячных колес

Нарезание зубьев червячных колес осуществляется на зубофрезерных станках червячной фрезой по методу обкатки при непрерывном вращении фрезы и колеса, воспроизводящих зацепление червячной пары.

Для получения правильных зубьев на червячном колесе необходимо соблюдать следующие условия: 1) рабочая часть фрезы по форме должна соответствовать форме поверхности червяка, с которым колесо будет работать в паре; 2) наружный диаметр фрезы должен выбираться

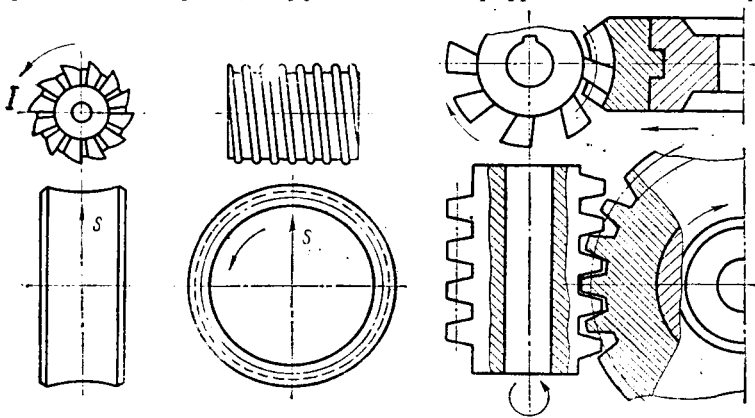


Рис. 175. Зубонарезание червячными фрезами способом радиальной подачи

больше наружного диаметра червяка на величину удвоенного радиального зазора в передаче; 3) расположение фрезы относительно нарезаемого колеса должно отождествлять расположение червяка и колеса, работающих в паре.

Фрезерование зубьев червячных колес можно осуществить с радиальной, тангенциальной и диагональной подачами фрезы. В первом случае инструментом является червячная фреза, которая конструктивно не отличается от фрезы для обработки цилиндрических колес. Установка сводится к строго горизонтальному расположению ее оси в средней плоскости червячного колеса. Осевые перемещения в этом случае исключаются (рис. 175). Подача на врезание осуществляется радиальным перемещением заготовки колеса, которое продолжается до тех пор, пока зубья не будут прорезаны на всю глубину. В некоторых конструкциях станков радиальная подача осуществляется фрезой.

Зачистка зубьев после нарезания осуществляется за счет одного-двух дополнительных оборотов колеса без радиальной подачи. За один оборот фрезы червячное колесо поворачивается на число зубьев, равное числу заходов фрезы.

Достоинства метода нарезания с радиальной подачей: высокая производительность и простота наладки; простота конструкции режущего инструмента; для нарезания зубьев колес средней точности нет необходимости в использовании зубофрезерных станков, оборудованных протяжным суппортом; метод достаточно хорошо удовлетворяет требованиям предварительной обработки точных колес на обычных зубофрезерных станках.

К числу недостатков метода можно отнести: невысокую точность и качество поверхности нарезаемых зубьев, обусловленные тем, что предварительное и чистовое нарезание производится одними и теми же зубьями; искажение профиля зуба, связанное с изменением диаметра фрезы и увеличением угла подъема винтовой линии после нескольких переточек; подрезание боковых поверхностей зубьев колеса на входе и выходе зубьев фрезы, происходящее из-за различий в величинах углов подъема винтовых линий на наружном диаметре фрезы и на боковых сторонах зубьев колеса; увеличение погрешностей профиля зубьев при отделочных проходах, связанное с отключением радиальной подачи, а следовательно, и с изменением упругих отжатий системы.

Способ тангенциальной подачи фрезы применяется, как правило, для нарезания червячных колес к многозаходным червякам. Для нарезания червячных колес с тангенциальной подачей фрезы (рис. 176) используется зубофрезерный станок, оборудованный специальным протяжным суппортом, сообщаемым фрезе осевую подачу.

Отличительной особенностью метода тангенциальной подачи является то, что фреза, точно установленная на величину заданного межцентрового расстояния H , получает движение I вдоль своей оси по касательной к делительной окружности колеса (движение подачи). В связи с этим червячному колесу сообщается дополнительное вращение II , соответствующее величине осевой подачи фрезы (доворот).

Конструктивно фреза для нарезания колес по методу тангенциальной подачи отличается тем, что состоит из двух частей: заборной

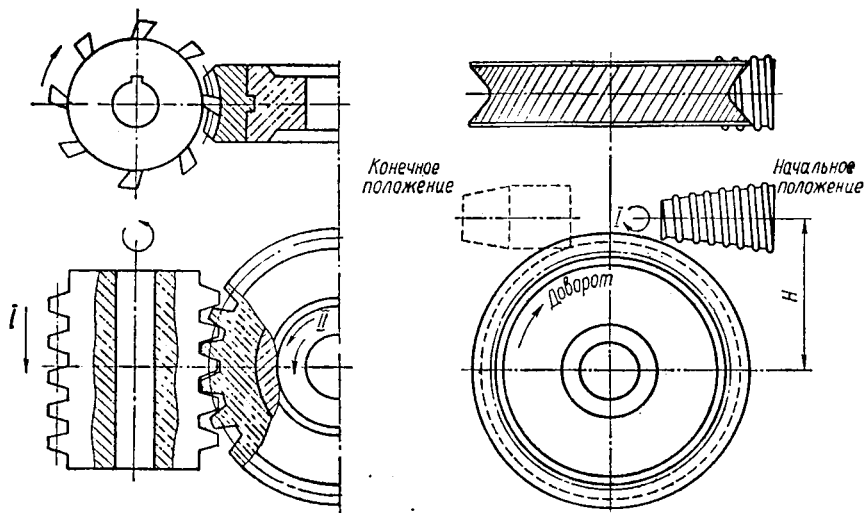


Рис. 176. Зубонарезание червячных зубчатых колес червячными фрезами способом тангенциальной подачи

и профилирующей. Зубья заборной части срезаны по конусу по вершинам, а профилирующей — нет. В соответствии с этим происходит и нарезание зубьев: заборной частью — предварительное, а профилирующей — окончательное.

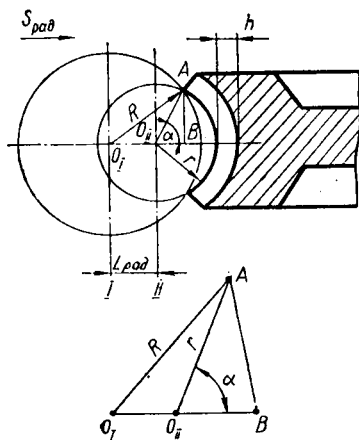
Все зубья нагружены равномерно, а поэтому точность нарезанных зубьев высокая. При нарезании особо точных колес применяют такие фрезы с улучшенной конструкцией, которые не искажают профиля зубьев путем подрезания его. Нарезание зубьев по этому методу рекомендуется за одну установку, так как обеспечивается большая точность. Иногда применяют специальные комбинированные фрезы, производящие последовательно черновую, чистовую и отделочную обработки зубьев червячного колеса. Режущая часть таких фрез состоит из заборной конической части, чистовой цилиндрической и насеченной отделочной. Недостатком их является большая длина и сложность изготовления.

При отсутствии червячной фрезы нарезание зубьев червячных колес можно осуществить резцами-летучками (рис. 177).

Режимы резания при нарезании червячных колес назначаются в зависимости от метода подачи и величины модуля. Например, для колес с $m = 3 \div 12$ мм величина радиальной подачи на один оборот заготовки устанавливается в пределах $S_{\text{рад}} = 0,55 \div 1,0$ мм и увеличивается примерно в два раза при тангенциальной подаче $S_t = 1,1 \div 1,6$ мм. Скорость резания при обработке обоими методами выбирается в пределах $V = 20 \div 26$ м/мин.

Основное время при нарезании червячных колес с радиальной подачей

$$t_0 = \frac{L_{\text{рад}}}{S_{\text{мин.рад}}}, \quad (166)$$



1 — резец черновой; 2 — резец чистовой

Рис. 178. Расчетная схема

где $L_{\text{рад}}$ — путь фрезы в процессе резания, равный расстоянию между осями фрезы в положениях начала врезания I и окончания радиальной подачи II (рис. 178); $S_{\text{мин.рад}}$ — величина минутной радиальной подачи, мм/мин

$$S_{\text{мин. рад}} = S_{\text{рад}} \cdot n_k. \quad (167)$$

Исходя из соотношения частот вращения червяка (фрезы) и червячного колеса

$$i = \frac{Z}{k_{\Phi}} = \frac{n_{\Phi}}{n_{\kappa}}, \quad (168)$$

тогда $n_k = \frac{n_{\Phi} k_{\Phi}}{Z}$, отсюда $S_{\text{мин. рад}} = \frac{S_{\text{рад}} \cdot n_{\Phi} \cdot K_{\Phi}}{Z}$;

$$t_0 = \frac{L_{\text{рад}} \cdot Z}{S_{\text{рад}} n_{\text{ф}} k_{\text{ф}}} \quad (169)$$

Учитывая преимущества радиального и тангенциального методов (высокую производительность первого, высокую точность и качество поверхностей зубьев второго), в Уральском политехническом институте им. Кирова разработан метод нарезания червячных зубчатых колес, который авторы называли диагональным методом (рис. 179). При диагональном методе фрезе сообщается одновременно две подачи: тангенциальная S_t — вдоль собственной оси и радиальная $S_{\text{рад}}$ — на изделие, в результате чего она перемещается по диагонали в горизонтальной плоскости с подачей S_d .

В положении 1 фреза перемещается в горизонтальном и вертикальном направлениях. В положении 2, когда достигнуто необходимое

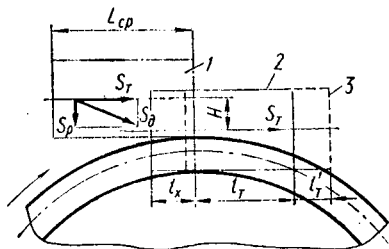


Рис. 179. Схема диагонального метода на-
резания червячных колес

межцентровое расстояние H , радиальная подача выключается и фрезе сообщается только тангенциальная подача S_T на окончательное профилирование (выхаживание). Длина участка выхаживания l_T . В положении 3 обработка заканчивается. Величина S_T выбирается из соотношения $\frac{S_T}{S_{\text{рад}}} = \frac{l_T}{H}$, где l_T — осевое перемещение фрезы в процессе резания, мм; H — горизонтальное перемещение фрезы.

Для осуществления процесса необходимы фрезерные станки, снабженные универсальными суппортами.

Величина $L_{\text{рад}}$ определяется из схемы (рис. 178). Из треугольников O_1AB и $O_{11}AB$ $O_1B = \sqrt{R^2 - AB^2} = \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2 \alpha}$; $O_{11}B = r \cdot \cos \alpha$. Отсюда $L_{\text{рад}} = \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2 \alpha} - r \cos \alpha$, где R — наружный диаметр червячной фрезы, мм.

На практике применяют упрощенную формулу:

$$L_{\text{рад}} = 1,25h = 1,25 \cdot 2,2m = 2,75m. \quad (170)$$

При нарезании колес с тангенциальной подачей основное время

$$t_0 = \frac{ZL_T}{S_T n_{\Phi} K_{\Phi}}, \quad (171)$$

где L_T — длина хода с рабочей подачей, равная длине заборной части фрезы плюс величина врезания и перебега, мм.

При нарезании червячного колеса за один проход длину хода принимают

$$L_T = (0,11Z + 7,7m) \div 5 \text{ мм}. \quad (172)$$

Глобoidные передачи характеризуются одновременным контактом с витком червяка нескольких зубьев колеса, что требует особого внимания к точности выполнения сопрягаемых поверхностей и тщательного профилирования специальной червячной фрезы для нарезания глобoidных колес.

7.8. Нарезание зубьев конических прямозубых колес

Конические прямозубые колеса имеют широкое распространение в машиностроении, благодаря простоте их расчета и изготовления.

Для нарезания зубьев конических зубчатых колес (конических шестерен) применяют специальные зуборезные станки (для точных шестерен), работающие по методу обкатки, и универсально-фрезерные с делительными приспособлениями, на которых производится нарезание зубьев менее точных конических шестерен модульными фрезами. Заготовке шестерни, зубья которой нарезаются на универсально-фрезерном станке, придается такое положение, при котором образующаяся впадина между двумя зубьями занимает горизонтальное положение.

Нарезание обычно производится за три прохода и только при малых модулях — за два. При первом проходе фрезеруется впадина между зубьями шириной b_2 (рис. 180). Форма фрезы соответствует форме впадины на ее узком конце и ширина дисковой фрезы равна ширине b_2 .

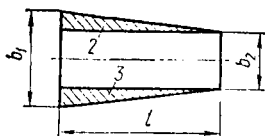


Рис. 180. Схема фрезерования конических зубчатых колес с прямым зубом

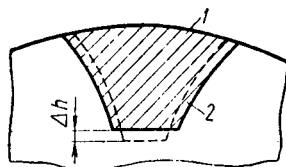


Рис. 181. Схема расположения припусков на обработку зубьев конических прямозубых колес:

1 — припуск на предварительную обработку; 2 — припуск на чистовое нарезание

Второй проход производится модульной фрезой, профиль которой соответствует наружному профилю зуба, путем поворота стола с делительной головкой на угол «сбоя», равный

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b_1 - b_2}{2l}, \quad (173)$$

где b_1 — ширина впадины между зубьями на ее широком конце, мм; l — длина впадины, мм. При таком положении фрезеруются все левые бока зубьев (площадка 2). За третий проход фрезеруются все правые бока зубьев (площадка 3), для чего делительную головку поворачивают на тот же угол, но в противоположном направлении.

Форма зубьев дисковых фрез обычно выбирается такой, чтобы припуск на чистовую обработку оставался только по боковым сторонам зубьев (рис. 181), а дно впадины при чистовом нарезании не обрабатывалось. Это способствует повышению стойкости чистовых зубострогальных резцов и повышению точности обработки. Но так как практически нельзя обрабатывать боковые грани на полную высоту зуба, не затронув дна зуба, то припуск дна в зависимости от модуля назначается в пределах $\Delta h = 0,1 \div 0,3$ мм.

Для предварительной обработки больших партий прямозубых конических шестерен используют, как правило, специальные станки с качающимися головками. Режущим инструментом являются наборные дисковые фрезы большого диаметра (рис. 182). Кроме вращательного движения I (движения резания) фреза получает перемещение II вдоль

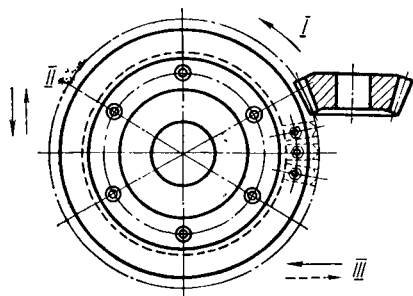


Рис. 182. Наборная дисковая фреза

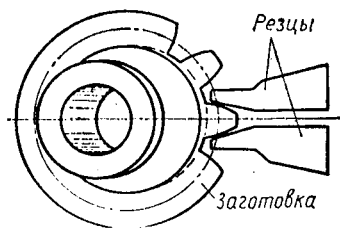


Рис. 183. Нарезание зубьев на зубострогальных станках

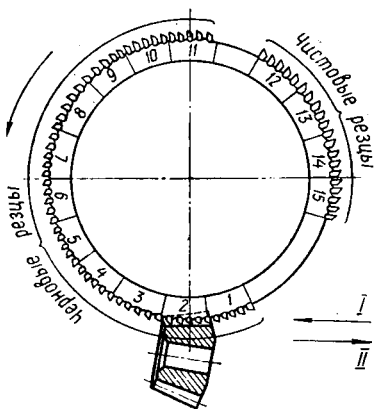


Рис. 184. Нарезание зубьев круговой протяжкой

образующей зуба для обработки его по всей длине. При этом вращение головки согласовано с ее продольным перемещением таким образом, что каждый зуб срезает металл в определенной зоне впадины зуба. Обрабатываемое колесо в процессе резания остается неподвижным. Поворот заготовки производится в момент отвода фрезы (движение III). Очевидно, несколько усложнив конструкцию шпинделя, по такой схеме

можно обрабатывать одновременно несколько заготовок. Отечественные трехшпиндельные станки построены по принципу, где одновременно обрабатываются три заготовки.

Чистовое окончательное нарезание зубьев конических шестерен можно производить строганием на зубострогальных станках. Принцип работы их заключается в том (рис. 183), что два строгальных резца совершают возвратно поступательное движение вдоль зубьев обрабатываемой шестерни. Для уменьшения бесполезного износа режущих кромок от трения их по обработанной поверхности в период обратного хода резцы отводятся на определенную величину от заготовки.

До модуля 3 мм стальные конические шестерни строгаются за один проход, с модулем 3 мм и более — за два (черновой и чистовой). Скорость резания в пределах 5—25 м/мин и зависит от материала обрабатываемой заготовки, модуля и т. п.

Самым производительным методом нарезания прямозубых конических шестерен, повышающим производительность в 3—5 раз по сравнению с зубостроганием, является метод кругового протягивания. Нарезание производится на специальных станках. Инструментом для нарезания служит круговая протяжка, состоящая обычно из 15 отдельных секций по пяти зубьев в каждой секции. Для удобства изготовления протяжки нарезаемые на ней зубья профилируются по дугам окружностей, которые выбираются из условия наибольшего их приближения к эвольвентам (рис. 184).

Блоки I—II предназначены для чернового и получистового протягивания. После получистового нарезания очередной впадины резец 12, вращающийся в специальном приспособлении на протяжке, снимает фаски по боковым поверхностям зубьев. Блоки 13, 14 и 15 — чистовые и служат для окончательного профилирования зубьев. Поворот заготовки для протягивания очередной впадины происходит во время прохождения мимо заготовки сектора, свободного от резцов.

При обработке заготовка неподвижна. Протяжка совершает вращательное движение с постоянной скоростью (движение резания) и получает вместе с суппортом возвратно поступательное движение I—II в горизонтальной плоскости. Характерным является то, что скорость

возвратно-поступательного движения на различных участках пути протяжки различная. Траектория движения каждого резца протяжки сложная. Скорость резания 10—25 м/мин. Время обработки одного зуба не больше 0,1 мин.

7.9. Нарезание конических колес с криволинейными зубьями

Конические колеса с криволинейными зубьями имеют ряд эксплуатационных и технологических преимуществ перед колесами с прямым зубом: плавность зацепления и бесшумность работы при высоких скоростях вследствие большой продолжительности зацепления; значительный запас прочности зубьев; меньшее влияние неточности изготовления на работу зубчатой пары; обработка криволинейных зубьев многолезвийным инструментом (червячными коническими фрезами или зуборезными многолезцовыми головками) производительнее обработки на зубострогальных станках; высокие режимы резания за счет повышенной жесткости станков для нарезания криволинейных зубьев.

Наибольшее распространение получили станки для нарезания зубьев паллоидного зацепления червячными коническими фрезами и станки для нарезания круговых зубьев многолезцовыми торцовыми зуборезными головками. Нарезание колес паллоидного зацепления осуществляется на специальных зубофрезерных станках. Инструментом служит специальная фреза, представляющая собой однозаходный конический червяк с углом делительного конуса 30° . Зубья фрезы заглажены и конструктивно ничем не отличаются от обычных червячных фрез, поэтому ими производится одновременная обработка обоих сторон впадины.

Режущие кромки расположены последовательно на винтовых конических поверхностях с постоянным осевым шагом. Фреза устанавливается во фрезерной головке под необходимым углом к ободу нарезаемого колеса (рис. 185). Нарезание производится по методу воспроизводства зацепления обрабатываемого колеса с воображаемым плоским производящим колесом с криволинейными зубьями. Фрезерная головка совершает движение *III*, воспроизводящее вращение воображаемого

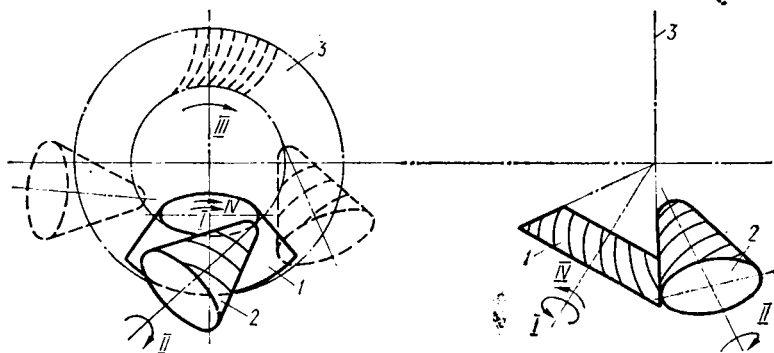


Рис. 185. Схема нарезания зубьев паллоидного зацепления червячной конической фрезой

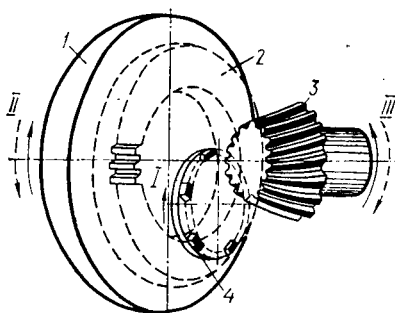


Рис. 186. Схема нарезания конических колес с круговыми зубьями торцовыми зуборезными головками:

1 — инструментальный барабан; 2 — производящее колесо; 3 — нарезаемое колесо; 4 — резцовая головка

заготовке сообщается дополнительное вращение *IV* или так называемый доворот, необходимость в котором вызвана вращением *III* фрезерной головки.

Сопряженная пара колес паллоидного зацепления обычно нарезается двумя фрезами с различным направлением витков: правозаходной фрезой нарезают колеса с левым направлением зубьев, левозаходной фрезой — колеса с правым направлением зубьев.

При нарезании конических колес с круговыми зубьями воспроизводится движение обкатывания заготовки по воображаемому конусному производящему колесу с круговыми зубьями. Инструментом служат зуборезные головки, снабженные большим количеством резцов специального профиля, расположенных по окружности на торце головки (рис. 186).

Резцовая головка закрепляется на инструментальном барабане, который поворачивается вокруг оси в одну и другую сторону. Движение резания *I* получает резцовая головка от отдельного привода. Это вращательное движение не связано с процессом обкатывания, поэтому скорость резания можно выбирать по стойкости резцов или другим технологическим соображениям. В процессе нарезания зубьев сам барабан вместе с вращающейся резцовой головкой получает медленное вращательное движение *II* вокруг оси производящего колеса. Вращения барабана *II* и заготовки *III* кинематически связаны между собой. Движение обкатки представляет собой результат согласованного вращения барабана с резцовой головкой и вращения заготовки. Когда впадина обрабатываемого зуба готова, делительное устройство вместе с заготовкой отводится от резцовой головки. Барабан с головкой совершает обратный ускоренный ход, а заготовка в этот период поворачивается на один зуб.

Черновое нарезание малого и большого конических колес зубчатой пары производится черновыми головками, обрабатывающими выпуклую и вогнутую стороны зуба. Головки могут быть двухрядными, имеющими нерегулируемые наружные и внутренние резцы, и трехрядными, у которых, кроме наружных и внутренних резцов, имеются еще и средние, прорезающие дно впадины на 0,2—0,25 мм глубже боковых сторон для облегчения чистового нарезания зубьев.

Чистовое нарезание круговых зубьев можно осуществить тремя способами: односторонним; двухсторонним; круговым протягиванием.

При одностороннем способе чистового нарезания выпуклая и вогнутая стороны зубьев нарезаются отдельно — каждая отдельной однорядной головкой без снятия со станка. Однорядные головки имеют соответственно внутренние или наружные резцы.

Для обеспечения одинакового угла наклона зубьев при нарезании каждой стороны требуется особая накладка станка. Этот способ обработки обеспечивает наиболее благоприятный контакт зубьев. Способ дорогостоящий и малопроизводительный, так как требуется сложная наладка, различный инструмент и большое количество переналадок для обработки пары зубчатых колес.

При двухрядном способе чистового нарезания выпуклые и вогнутые стороны зубьев обоих колес пары обрабатываются двухрядными головками. Способ высокопроизводителен, экономичен, но обеспечивает худший контакт сопрягаемых зубьев, поэтому он применяется только в зубчатых парах, к которым не предъявляются высокие требования в отношении степени точности. Скорость резания при чистовой обработке этим способом 50—55 м/мин.

Инструментом для кругового протягивания являются круговые протяжки, состоящие из блоков резцов, работающих боковыми режущими кромками. Каждый блок состоит из одного наружного и одного внутреннего резца. Резцы имеют переменный развод, что обеспечивает постепенное снятие стружки заданной толщины. Последние два зуба калибрующие. Поворот заготовок осуществляется в период прохождения сектора протяжки, где нет резцов. Производительность нарезания высокая, а точность — вполне удовлетворительная.

7.10. Накатывание зубьев

По технологическому признаку накатывание зубьев подразделяется на горячее и холодное. Горячее накатывание зубьев разработано ЦНИИТМашем, а холодное (точнее горяче-холодное) — институтом «Оргстанкинпром». Принципиально они отличаются друг от друга тем, что при горяче-холодном накатывании осуществляется метод двукратной пластической деформации. На штампованной заготовке зуб обрабатывается по методу горячего накатывания на специальном станке с последующим калиброванием на станке для холодного накатывания.

Инструментом для горячего накатывания служат валки специального прокатного станка, на котором установлена высокочастотная печь, обеспечивающая нагрев заготовки до 1000—1100° С. Валки имеют вид корригированных зубчатых колес с соответственно подобранными размерами зубьев эвольвентного профиля. Зубья валков подвергаются закалке до твердости *HRC* 62—65 и полируются. Рекомендуется диаметр валков брать несколько больше диаметра накатываемого колеса для увеличения степени перекрытия.

Важным преимуществом метода накатывания является улучшение качества поверхностного слоя металла за счет наклепа, что благоприятно сказывается на износостойкости и прочности зубьев.

Вращение заготовки может быть принудительным и свободным. Как в том, так и в другом случае обеспечивается определенное соотно-

шение в частотах вращения валков и заготовки, соответствующее числам нарезаемых зубьев. Производительность накатывания в 25—40 раз выше зубофрезерования при модуле 3 мм. По методу горячего накатывания достигается 8—9-я степень точности, а по методу горяче-холодного накатывания 7—8-я степень точности.

Дальнейшая механическая обработка накатанных зубчатых колес сводится к обработке центрального отгестия и снятию заусенцев.

7.11. Окончательная чистовая отделка зубьев

Отделка зубьев применяется для колес, изготавливаемых по нормам 6—7-й степени точности. Боковые поверхности зубьев таких колес должны иметь шероховатость не более $R_a = 1,25$ мкм. Ее применение диктуется тем обстоятельством, что с увеличением быстроходности машин возникла необходимость в получении бесшумных зубчатых передач.

Кроме бесшумности, с тщательностью обработки зубьев колес связаны также и другие эксплуатационные качества зубчатой передачи: плавность работы, износоустойчивость, прочность и т. п. Окончательная чистовая отделка зубьев шестерен производится следующими способами: обкаткой, шевингованием, шлифованием, притиркой и приработкой.

Обкаткой называется процесс улучшения качества поверхности зубьев сырой шестерни путем вращения ее между шестернями-эталопами и давления последних на обрабатываемую шестерню. Для этих целей используют специальные обкаточные станки или горизонтально-фрезерные, оборудованные специальными приспособлениями.

Шестерни-эталонны изготовляются из быстрорежущей стали с точностью, не превышающей ± 5 мкм.

Принципиальная схема станка для обкатывания показана на рис. 187. Обрабатываемая шестерня 2 вращается от ведущего эталона 1 и передает движение обрабатывающим эталонам 3. Давление P на эталоны может быть создано с помощью гидравлического, пневматического или механического устройства. Так как обработке должны подвергаться обе боковые стороны зубьев, то вращение осуществляется в обе стороны с количеством оборотов, равным 3—25. Длительность процесса не превышает 10—30 с.

Недостатки процесса: после обкатывания получается некоторое искажение профиля зубьев; неравномерность истирания материала по высоте зубьев за счет разницы в скольжении боковых поверхностей при эвольвентном зацеплении (у вершин и ножек — наибольшее); в результате наклепа возникают дополнительные внутренние напряжения, способствующие иногда увеличению изнашивания.

Шевингованием называется процесс чистовой отделки зубьев сырой шестерни, заключающийся в снятии режущими кромками ин-

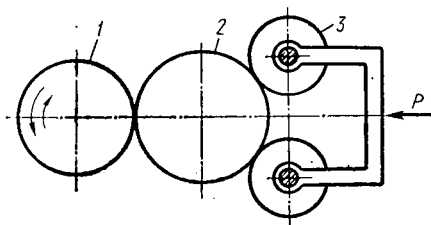


Рис. 187. Схема обкатывания цилиндрической шестерни тремя шестернями-эталопами

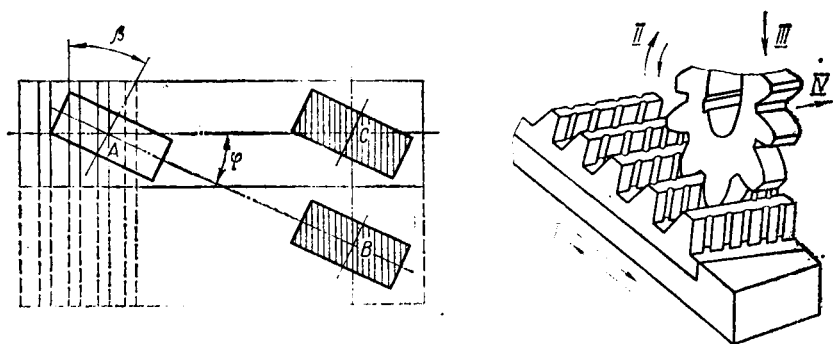


Рис. 188. Схема обработки зубчатых колес шевингованием

струмента очень тонких (0,001—0,005 мм) волосообразных стружек, благодаря чему значительно исправляются эксцентриситет начальной окружности, ошибки в шаге, в профиле эвольвенты и в угле спирали.

Основано шевингование на воспроизводстве реечного зацепления или зацепления цилиндрической зубчатой пары со скрещивающимися осями. Инструментом может быть шеввер-рейка и шеввер-шестерня. Врезание режущих кромок осуществляется под действием давления, возникающего при сближении осей шеввера и заготовки.

Шевингованию обычно подвергаются зубчатые колеса с модулем от 0,4 до 12 мм и диаметром от 6 до 1200 мм. Шевингованием достигается 6—7-я степень точности обработанных колес и шероховатость поверхности до $R_a = 0,63 \div 0,08$ мкм.

Для выяснения принципа обработки зубчатых колес шевингованием рассмотрим следующую схему (рис. 188).

Если косозубую шестерню свободно катить по неподвижной, условно уширенной, прямозубой рейке вправо, то из положения *A* она займет положение *B*. Направление *AB* движения шестерни составит с продольной осью *AC* угол φ , равный углу наклона зубьев шестерни β . Если при перекатывании шестерни по рейке не давать ей перемещаться вдоль своей оси, то она займет положение *C*. В этом случае помимо перекатывания по рейке зубья шестерни будут иметь относительное скольжение вдоль зубьев рейки на величину, равную отрезку *BC*, за счет чего и производится срезание стружки.

Шевингование шеввер-рейкой производится при угле скрещивания осей 10—15°. При этом на шевинговальных станках качение шестерни по рейке отсутствует и вместо него обрабатываемое колесо вращается вокруг своей оси (движение *II*). Продольное перемещение в направлении *AC* сообщается инструменту, т. е. шеввер-рейке (движение *I*). Для осуществления обработки зубьев до требуемых размеров и точности обрабатываемому колесу сообщается движение *III* с необходимым давлением. Это движение совершается после каждого двойного хода шеввер-рейки и называется радиальной подачей. Движением *IV*, которое также совершается после каждого двойного хода шеввер-рейки обрабатываемым колесом, обеспечивается более равномерный износ шеввер-рейки.

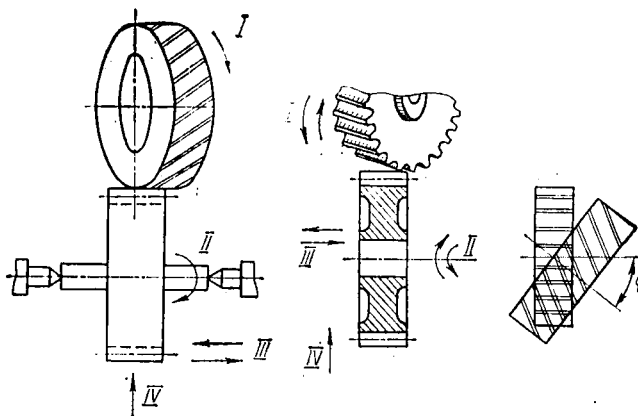


Рис. 189. Шевингование круглым шевером

Скорость резания при шевинговании определяется по формуле

$$V = \frac{U \cdot \sin(\beta \pm \beta_{\text{ш}})}{\cos \beta}, \quad (174)$$

где U — скорость перемещения стола с шевер-рейкой; β и $\beta_{\text{ш}}$ — соответственно углы наклона зубьев заготовки и шевер-рейки (знак плюс в формуле применяется при одноименном наклоне зубьев заготовки и инструмента, а при разноименном — минус).

Обычно скорость резания при шевинговании колес среднего модуля равна 20—25 м/мин. Радиальная подача $S_{\text{рад}} = 0,025 \div 0,10$ мм на двойной ход шевер-рейки.

Цикл шевингования состоит из 15—25 двойных ходов, в том числе 3—4 калибрующих без радиальной подачи. Точность по шагу и профилю зубьев составляет 0,005 мм, по радиальному биению — до 0,03 мм.

К недостаткам шевингования шевер-рейкой относятся высокая стоимость инструмента, неравномерность его износа (крайние зубья почти не работают), трудность заточки, а также невозможность обрабатывать многозвенцовые колеса и колеса с внутренним венцом.

Круглый шевер представляет собой специальное косозубое колесо, на боковых поверхностях зубьев которого нанесены узкие канавки, образующие режущие кромки. Обрабатываемое колесо и инструмент обкатываются как цилиндрическая винтовая пара со скрещивающимися осями (рис. 189). Вращательное движение получает шевер (движение I), и он вращает обрабатываемое колесо (движение II). Для равномерной отделки зубьев с обеих сторон движение шевера и обрабатываемого колеса реверсируется. Для снятия стружки по всей длине зуба колесу задается дополнительное продольное перемещение III (продольная подача). Движением IV (радиальной подачей) обеспечивается сближение осей шевера и колеса после каждого прохода.

Профиль зуба шевера должен корректироваться, так как в противном случае будут искажения профиля зубьев до 0,03—0,04 мм из-за значительных давлений, возникающих в точках делительной окружности при его работе.

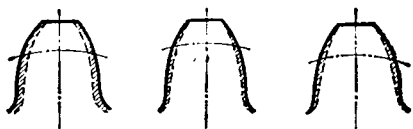


Рис. 190. Схема расположения припусков на зубьях

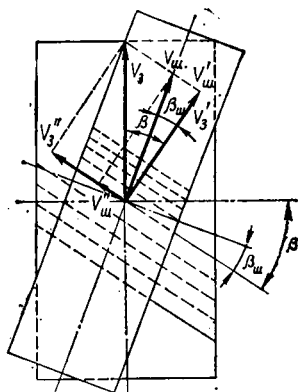


Рис. 191. Схема для определения скорости резания при шевинговании

Угол скрещивающихся осей $\varphi = \beta \pm \beta_{ш}$. Практически установлено, что оптимальная величина угла скрещивания $10-15^\circ$. Если φ увеличить значительно больше 15° , то путь скольжения также увеличится и снятие стружки происходит интенсивнее. Однако, если угол скрещивания взять достаточно большим, то это приведет к уменьшению площади контакта зубьев шевера и колеса и уменьшению количества кромок, участвующих в процессе резания. В результате этого снижается точность обрабатываемых колес, повышается удельное давление и возникает опасность поломки зубьев шевера.

Большое влияние на процесс шевингования и качество колеса оказывает форма и величина припуска. Обычно принимают величину радиального припуска для колес с $m = 2 \div 5$ мм, равную $h = 0,13 \div 0,25$ мм для косозубых колес и $h = 0,08 \div 0,20$ мм для прямозубых колес.

Равномерно распределенный припуск не дает свободного выхода головке зуба шевера, что приводит его к быстрому износу и даже поломкам. Равномерно распределенный припуск с наличием фаски на головке зуба и канавки у его основания (рис. 190) значительно улучшает условия работы шевера, однако, для получения такого припуска требуется очень сложный инструмент для предварительного зубонарезания.

Припуск с неравномерным распределением его по поверхности зуба (уменьшенным до нуля у головки и основания зуба) удовлетворяет особенностям шевингования в отношении их износостойкости и условий работы. Инструмент предварительного зубонарезания изготавливается со специальными фасками.

Особенностью обработки колес круглыми шеверами является то, что скорость резания представляет собой переменную величину, т. е. для каждой точки режущих кромок инструмента скорость имеет разные абсолютные величины и направления. В силу этого принято судить о скорости шевингования по скорости скольжения в местах наибольшего износа инструмента. Так как наибольший износ режущих кромок шевера происходит около делительной окружности, то скорость резания принимается равной скорости скольжения в полюсе зацепления (рис. 191).

Разложим окружную скорость шевра $V_{\text{ш}}$ на две составляющие: $V'_{\text{ш}}$ — перпендикулярно направлению зубьев и $V''_{\text{ш}}$ — направленную вдоль зуба. Тогда $V'_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cos \beta_{\text{ш}}$, а $V''_{\text{ш}} = \sin \beta_{\text{ш}} V_{\text{ш}}$. Аналогично разложив окружную скорость заготовки V_3 на составляющие, получим $V'_3 = V_3 \cos \beta_{\text{ш}}$, а $V''_3 = V_3 \sin \beta_{\text{ш}}$, где $\beta_{\text{ш}}$ и β — углы наклона зубьев соответственно шевра и заготовки.

Относительное скольжение зубьев шевра и заготовки, принимаемое за скорость резания при шевинговании V , определяется по формуле

$$V = V''_{\text{ш}} + V''_3 = V_{\text{ш}} \sin \beta_{\text{ш}} \pm V_3 \sin \beta. \quad (175)$$

Для приведения формул к более удобному для расчетов виду воспользуемся тем положением, что скорости шевра и заготовки по нормали к направлению зубьев равны между собой ($V'_{\text{ш}} = V'_3$). Значит

$$V_{\text{ш}} \cos \beta_{\text{ш}} = V_3 \cos \beta. \quad \text{Отсюда } V_3 = V_{\text{ш}} \frac{\cos \beta_{\text{ш}}}{\cos \beta}. \quad (176)$$

Подставив значение V_3 в ранее выведенную формулу для V , получим

$$V = V_{\text{ш}} \frac{\cos \beta_{\text{ш}}}{\cos \beta} \sin \beta \pm V_{\text{ш}} \sin \beta_{\text{ш}} \quad \text{или} \\ V = V_{\text{ш}} (\cos \beta_{\text{ш}} \cdot \operatorname{tg} \beta \pm \sin \beta_{\text{ш}}). \quad (177)$$

Основное время шевингования определяется $t_0 = tk$, где t — время одного хода стола, мин; k — необходимое для обработки число ходов стола. Время одного хода стола

$$t = \frac{L}{S_{\text{прод}} n_3} = \frac{LZ}{S_{\text{прод}} \cdot n_{\text{ш}} \cdot Z_{\text{ш}}}, \quad (178)$$

где L — величина хода стола, мм; $S_{\text{прод}}$ — продольная подача стола на оборот заготовки, мм; n_3 и $n_{\text{ш}}$ — частота вращения соответственно заготовки и шевра в минуту; Z и $Z_{\text{ш}}$ — числа зубьев заготовки и шевра.

Необходимое для обработки число ходов стола равно сумме рабочих k_p и зачистных k_3 ходов и определяется по соотношению

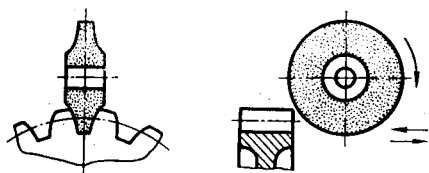
$$k = k_p + k_3 = \frac{h}{S_{\text{рад}}} + k_3, \quad (179)$$

где h — радиальный припуск, мм; $S_{\text{рад}}$ — радиальная подача на ход стола, мм; $k_3 = 2 \div 6$ (в зависимости от требования точности и шероховатости). Отсюда основное время, мин

$$t_0 = \frac{LZ}{S_{\text{прод}} \cdot n_{\text{ш}} \cdot Z_{\text{ш}}} \left(\frac{h}{S_{\text{рад}}} + k_3 \right). \quad (180)$$

При шевинговании колес среднего модуля скорость резания обычно получается в пределах 30—45 м/мин. Величина радиальной подачи при шевинговании колес 6 и 7-й степеней точности $S_{\text{рад}} = 0,02 \div 0,06$ мм на один ход стола. Продольная подача $S_{\text{прод}} = 0,02 \div 0,06$ мм на один оборот зубчатого колеса. Шероховатость поверхности при этом $R_a = 1,25$ мкм. Шевром без переточки можно обра-

Рис. 192. Шлифование по методу копирования



ботать от 5 до 10 тыс. колес. Количество переточек 5—6. Круглым шеве́ром можно обрабатывать много-венцовые шестерни и шестерни с внутренним зацеплением. Стоимость инструмента ниже и устройство станка проще.

Если оси шевера и заготовки параллельны, то шевингование возможно при условии задания дополнительных осциллирующих движений шеве́ру вдоль его оси.

Приработка зубьев — это процесс обкатки парных зубчатых колес вокруг своих осей для снижения шероховатости поверхности и сокращения времени приработки их в собранном механизме. Целью процесса приработки является улучшение контактно-шумовой характеристики передач. Приработка производится с применением абразива, специальной пасты или без них. Для операции используют специальные зубопритирочные станки с параллельными осями и колеса. Очень часто операция приработки выполняется непосредственно после монтажа колес в корпусе.

Контактно-шумовая характеристика передачи улучшается за счет снятия и удаления с поверхностей зубьев заусенцев, забоин и других дефектов, в результате чего получается равномерный износ зубьев без ухудшения их профиля.

Обычно ведущему колесу задают 50—400 об/мин, а ведомое несколько притормаживается. Время приработки колес модуля 2—5 мм не превышает 10 мин.

Шлифование зубьев применяется только для обработки очень точных и ответственных зубчатых колес, а также для зуборезных инструментов. Причиной является сложность наладки станка и низкая производительность, что делает процесс дорогостоящим. Шлифование может быть выполнено на копировальных и обкаточных зубошлифовальных станках.

При шлифовании по методу копирования профиля инструмента колесо остается неподвижным, а шлифовальный круг, заправленный в форме впадины, совершает вращение и возвратно-поступательное движение (рис. 192). Скорость вращения шлифовального круга должна быть 30—35 м/с. Скорость возвратно-поступательного движения 8—16 м/мин. После каждого двойного хода шлифовального круга шлифуемое колесо поворачивается на один (или несколько) зубьев и фиксируется в новом положении.

Все погрешности в профилировании круга копируются на колесе. Профилирование круга производится алмазами, встроенными в специальное приспособление, обеспечивающем заправку круга в процессе работы по специальному шаблону. Присуток под шлифовку задается 0,2—0,3 мм, который снимается за 3—4 прохода. Время обработки одного зуба колеса с $m = 2 \div 5$ мм равно 0,3—0,8 мин.

Шлифование зубьев по методу обкатки производится двумя тарельчатыми или шлифовальными кругами (или одним конусным), располо-

женными так, что их шлифующие части образуют зуб производящей рейки того же модуля и угла зацепления, что и обрабатываемое колесо. Обкаточное движение колеса относительно воображаемой производящей рейки осуществляется специальным механизмом обкатывания. Обе стороны впадины обрабатываются одновременно. После шлифования одной впадины стол с деталью отводится в исходное положение, круги выводятся из зацепления с изделием, обрабатываемое колесо поворачивается на один (или несколько) зубьев и обрабатывается следующая впадина. Компенсирующий механизм действует каждые 3 с, обеспечивая непрерывную подачу кругов и их автоматическую заправку.

Более производительным методом шлифования зубьев является шлифование абразивным червяком. Обработка производится непрерывно. Метод позволяет шлифовать косозубые цилиндрические колеса. Червяк изготавливается одно- или двухзаходным диаметром 300 мм. Ему сообщается вращательное движение вокруг своей оси (движение резания) и поступательное вдоль оси заготовки (движение подачи) со скоростью 0,6 мм на оборот колеса. Обрабатываемое колесо также получает вращательное движение, согласованное с вращением червяка.

Точность обработки — 6-я степень, шероховатость $R_a = 1,25 \div 0,08$ мкм. Время обработки 0,2—0,3 мин на зуб. Недостаток — сравнительно низкая стойкость шлифующего червяка, приводящая к быстрой потере точности.

В настоящее время при хонинговании прямых, косых и криволинейных колес хон изготавливается в виде геликоидального зубчатого колеса из пластмассы, пропитанной мелкозернистым абразивом. Колесо находится в зацеплении с хоном без зазора и совершает возвратно поступательное и реверсивное движения. Время хонингования в пределах 30—40 с для колес с модулем 2—3 мм и числом зубьев 30—40. Припуск под хонингование 0,02—0,05 мм на сторону зуба.

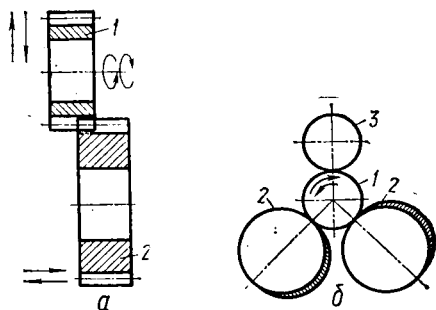
Притирка зубьев выполняется на специальных зубопритирочных станках, которые могут быть с параллельными и со скрещивающимися осями притира и колеса. Инструментом для обработки является притир, представляющий собой зубчатое колесо 6-й степени точности, изготовленное из серого мелкозернистого чугуна с твердостью *HB* 180—220. В целях исключения местного износа притира число зубьев на нем не должно быть кратным числу зубьев колеса.

В станках с параллельными осями притира и колеса ведущим является обрабатываемое колесо 1, передающее реверсируемое вращательное движение притиру 2 (рис. 193, а). В станках со скрещивающимися осями колесо 1 зацепляется с тремя притирами: двумя косозубыми 2 и одним прямозубым 3 (рис. 193, б).

Конструктивно схема выполнена так, что ось прямозубого притира параллельна оси обрабатываемого колеса, а оси косозубых притилов скрещиваются с осью обрабатываемого колеса под углом 10—20°, который в общем случае регулируется. Обрабатываемое колесо получает вращательное движение в обе стороны с частотой вращения 150—300 оборотов в минуту и возвратно-поступательное движение вдоль своей оси с числом двойных ходов в минуту, равным 40—200.

Рис. 193. Схемы притирки зубьев зубчатых колес:

a — с одним притиром; *б* — с тремя притирами



Такие станки более производительны и обеспечивают большую точность. Все неровности, которые остаются после контакта с косозубыми притирами, зачищаются прямоугольным притиром.

К достоинствам метода притирки зубчатых колес можно отнести: возможность притирки термообработанных колес; высокая степень точности обработки (6—7 степень), низкая шероховатость поверхности $R_a = 0,32 \div 0,04$ мкм. Однако часть абразивных зерен внедряется в обработанные поверхности зубьев, вызывая их повышенный износ при дальнейшей работе в передаче.

Специального припуска под притирку обычно не оставляют, а используют фактическое отклонение в пределах поля допуска на толщину зуба колеса. Время притирки незначительное и составляет до 0,1 мин на один зуб колеса.

7.12. Обработка корпусных деталей

Изготовление заготовок корпусных деталей производится, в основном, методом литья и сварки. Исходя из этого, к их конструкциям предъявляются определенные требования. Например, к литым заготовкам корпусных деталей — возможность машинной формовки, а к заготовкам из цветных сплавов — литье их в постоянные металлические формы.

В целях уменьшения трудоемкости изготовления корпусных деталей и повышения их качества необходимо при их проектировании выполнять следующие технологические требования:

1. Корпусная деталь должна быть жесткой и прочной, стенки и перегородки должны быть достаточных размеров, чтобы при закреплении заготовки и в процессе ее обработки под воздействием силы резания не возникли деформации, а следовательно, и погрешности обработки.

2. Базовые поверхности корпусной детали должны иметь достаточную протяженность, позволяющую осуществлять полную механическую обработку с одной неизменной базы.

3. Обрабатываемые поверхности корпусной детали должны быть открыты и доступны для прохода режущего инструмента при врезании и выходе.

4. Внешняя форма корпусной детали должна давать возможность одновременно обрабатывать несколько наружных поверхностей на проход путем многошпиндельного фрезерования или строгания с помощью нескольких суппортов.

5. Отверстия корпусной детали должны иметь по возможности простую геометрическую форму, без кольцевых канавок и фасок.

6. Корпусная деталь не должна иметь поверхностей, перпендикулярных к осям отверстий как у входа, так и на выходе сверления.

7. В стенках и перегородках корпусных деталей нежелательны различные окна, прерывающие отверстия.

8. Точно растачиваемые отверстия не должны иметь внутренних выступов, препятствующих растачиванию на проход. Диаметры обрабатываемых отверстий внутри корпусной детали не должны превышать диаметров соосных им отверстий в наружных стенках детали.

9. В корпусных деталях следует избегать многообразия размеров отверстий и резьб.

В корпусных деталях обрабатывают базовые поверхности; поверхности, параллельные базовым; основные и крепежные отверстия. Обычно базовые поверхности и поверхности, им параллельные, обрабатывают за две операции — черновую и чистовую. Основные отверстия ниже 5-го качества точности также обрабатывают за две операции — черновую и чистовую. Крепежные отверстия обычного назначения обрабатывают за одну операцию. Обработка выполняется в следующем порядке: вначале обрабатывают базировочные поверхности и крепежные отверстия, которые могут быть использованы при последующей обработке, затем все плоские поверхности и после них — основные отверстия.

После черновой обработки всех плоских поверхностей и основных отверстий производится повторная проверочная обработка базовых поверхностей жестких конструкций корпусных деталей. Если конструкция достаточно жесткая и получена точными методами изготовления, то достаточно однократной обработки базовых поверхностей.

Окончательную обработку (шлифование или другие отделочные операции) производят в том же порядке: сначала — плоских поверхностей, а затем — основных отверстий.

Плоские поверхности корпусных деталей в серийном производстве обрабатывают на продольно-фрезерных или продольно-строгальных станках; в массовом производстве — на протяжных, фрезерных непрерывного действия с карусельными столами или с барабанными устройствами. Если корпусные детали очень большие и тяжелые, их плоские поверхности можно обрабатывать фрезерными головками на портально-фрезерных станках, перемещающихся относительно заготовки, установленной неподвижно на столе станка. Базовые поверхности корпусных деталей небольших размеров можно обрабатывать на обдирочно-шлифовальных станках с вертикальной осью вращения.

Окончательная обработка плоских поверхностей корпусных деталей производится на плоскошлифовальных станках, а также строганием широким резцом, тонким фрезерованием и шабрением. Основные отверстия обрабатывают на универсальных горизонтально-расточных, радиально-сверлильных, агрегатных, координатно-расточных и координатно-сверлильных станках. Точность межосевых расстояний, параллельность и перпендикулярность осей отверстий обеспечиваются двумя методами: обработкой отверстий с направлением инструмента в кондукторе; без направления — с использованием различных способов координации положения инструмента. Выбор того или иного метода зависит от типа производства, наличия необходимого оборудо-

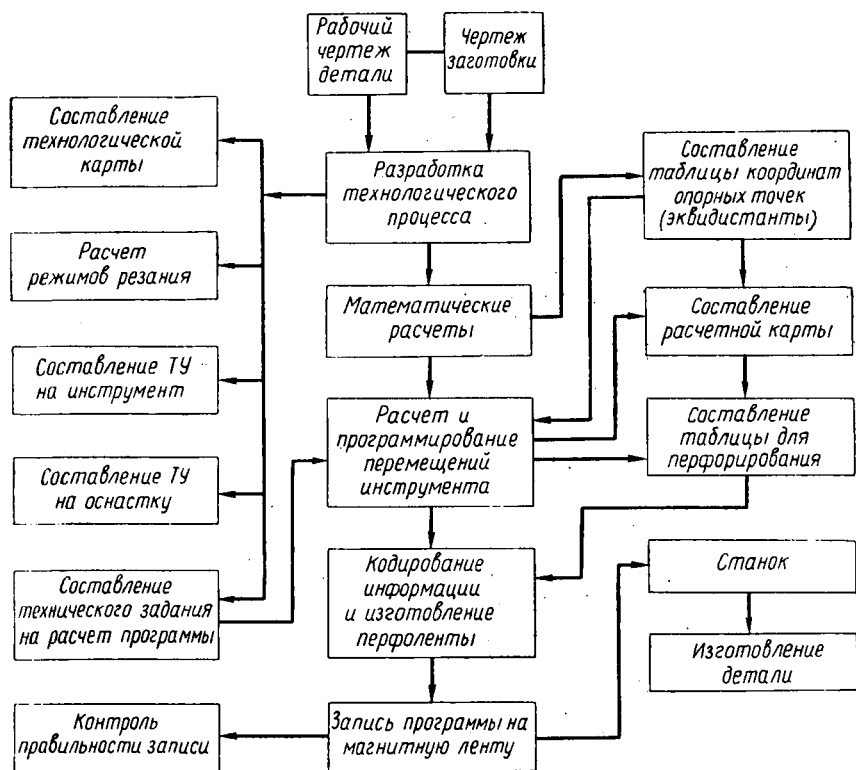


Рис. 194. Схема разработки технологического процесса обработки детали на фрезерном станке с программным управлением

вания и требуемой точности к корпусной детали. Особенно эффективной, а поэтому и перспективной, является обработка корпусных деталей с габаритными размерами до $600 \times 400 \times 300$ мм и больше на многооперационных станках с автоматической сменой инструмента (обрабатывающих центрах), оборудованных современными системами программного управления. Применение поворотных приспособлений на этих станках позволяет последовательно обрабатывать детали с одной установкой шестью-восемью и более инструментами с нескольких сторон. Общая экономия времени при этом достигает 200% (по сравнению со временем обработки на универсальных станках).

Составление и расчет технологического процесса и программы обработки корпусной детали на фрезерном станке с программным управлением (рис. 194) производится примерно в такой последовательности: 1) по рабочим чертежам детали и ее заготовки составляется специальный чертеж для расчета программы обработки; 2) разрабатывается технологический маршрут обработки и выбираются необходимые инструменты; 3) на чертеже намечаются опорные точки начала и конца переходов, рассчитываются координаты этих точек; 4) рассчитываются режимы резания для назначенных инструментов, подбирается закодиро-

ванная вспомогательная оснастка и средства закрепления детали на столе станка или в приспособлении; 5) составляется технологическая карта с расчетом количества импульсов шагового двигателя, необходимых для перемещения исполнительных частей станка на расстояния между опорными точками; 6) составляется расчетная карта, в которую вносятся все необходимые данные обработки в кодированном виде; 7) кодированная информация переносится на программноноситель.

Особенно перспективна обработка корпусных деталей с применением ЭВМ для автоматического проектирования, расчета оптимальных технологических процессов и передачи этой информации по каналам телефонно-телеграфной связи на другие родственные предприятия, в другие города и страны.

Глава 8

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О СБОРКЕ

8.1. Значение и объем сборочных работ в машиностроении

Сборкой называется часть технологического процесса изготовления изделия машиностроительного завода, которым заканчиваются работы по соединению отдельных деталей в узлы и компоновке последних для придания изделию готового вида в соответствии с его функциональным назначением.

Сборку начинают с базового элемента, которым может быть деталь или узел. Как часть технологического процесса сборка бывает узловая и общая, т. е. сборка готового изделия. Технологические схемы узловой и общей сборки строят раздельно: в первой приводят порядок комплектования узлов, а во второй — изделия в целом. В приборостроении и аппаратостроении, где в изделии имеются элементы, образующие электрические и магнитные цепи, различают электрическую сборку и монтажные работы.

В технологический процесс сборки включаются также регулировочные, наладочные и испытательные работы. Так как сборка является заключительным этапом в производственном процессе, то, естественно, качество сборки значительно влияет на эксплуатационные качества машины, на ее надежность и долговечность. Объем сборочных работ в различных отраслях машиностроения различен: минимальное его значение 10%, а максимальное — 60%. Объем сборочных работ по отношению к объему механической обработки зависит от типа производства: в мелкосерийном он составляет 40—50%, в серийном 30—35%, в крупносерийном 20—25% и в массовом — менее 20%.

Степень разработки технологического процесса сборки также зависит от типа производства. В единичном производстве технологические процессы сборки детально не разрабатываются. Делается только наметка последовательности операций и ориентировочно, на основании статистических данных или по аналогии, определяется рабочее время. Технологический процесс строится на принципе последовательности выполнения операций, не расчлененных на более мелкие

переходы сборочного процесса. Для сборки используются универсальные средства и оборудование. В серийных и массовых производствах, наоборот, техпроцесс сборки расчленен на операции, переходы, приемы с использованием специальных приспособлений, высокоэффективных средств и оборудования.

8.2. Исходные данные для проектирования технологического процесса сборки

Для того, чтобы приступить к разработке технологического процесса сборки изделия или узла, технолог должен располагать некоторыми данными о производстве и следующими документами: 1) сборочные чертежи и чертежи общих видов узлов и изделий, на которых должны быть указаны допуски на угловые и линейные размеры, конструктивные зазоры и технические требования к изделию; 2) технические условия на приемку и испытание изделий; 3) производственная программа сборочного цеха, в которой должно содержаться наименование собираемых узлов и машин, масса каждого узла и изделия в целом, годовой выпуск в количественном выражении и в тоннах; 4) спецификация поступающих на сборку узлов и деталей с указанием их наименования, номера, количества на одно изделие и места, с которого поступает на сборку.

На основании этих данных разрабатывается технологический процесс сборки. Определяется он в виде карт, схем и графиков. В картах сборочных работ для каждой стадии излагаются все факторы технологического процесса с разбивкой его на операции, переходы и приемы. Карты должны содержать: наименование машины; годовой выпуск машин и величину серии; наименование и описание операции и перехода для каждой стадии сборки; указание, какие требуются приспособления, инструменты, принадлежности для сборки и время отдельных операций; разряды квалификации рабочего; конструктивные зазоры для сочленений деталей; эскизы, иллюстрирующие операции, приспособления и т. п.

8.3. Основные виды соединений, их классификация и методы выполнения при сборке узлов и машин

К числу наиболее распространенных соединений в машинах относятся узлы подшипников и зубчатые зацепления. Эти виды соединений в среднем составляют от 5 до 20% общего количества соединений деталей машин.

В зависимости от конструкций деталей и узлов соединение их может быть подвижным и неподвижным. Как подвижные, так и неподвижные соединения подразделяются на разъемные или разбираемые и неразъемные или неразбираемые. Неподвижные соединения могут быть также разбираемыми.

К разъемным или разбираемым относятся такие соединения, которые могут быть разобраны без особых затруднений и повреждения сопряженных или крепежных деталей.

К неразъемным или неразбираемым относятся такие соединения, разборка которых в процессе эксплуатации не предусмотрена, а поэтому крайне затруднительна, требует больших усилий и сопровождается повреждением сопряженных или крепежных деталей либо скрепляющего вещества.

Неподвижные неразбираемые соединения в машиностроении выполняются клепкой, сваркой, паянием, склеиванием, посадкой с натягом, холодной штамповкой, прессованием и другими способами. Отличительной особенностью таких соединений является точность и прочность.

Неподвижные разбираемые соединения выполняют глухой, тугой, напряженной и плотной посадками, винтовыми и штифтовыми соединениями, а также комбинацией этих и других соединений.

Подвижные соединения осуществляют подвижными посадками по цилиндрическому, коническому, винтовому, сферическому поверхностям и другими способами.

При сборке шариковых подшипников имеют место две неподвижные посадки — внутреннего кольца на валу и наружного кольца в корпусе. Характер посадок в данном случае различный и условия работы тоже различные, поэтому у внутреннего кольца беговая дорожка изнашивается равномерно, а у наружного — интенсивно на небольшом участке. При неправильной установке подшипников может возникнуть заклинивание шариков. Причиной является уменьшение зазора между поверхностями колец и шариками. Поэтому нельзя наружное и внутреннее кольца подшипника запрессовывать (на вал и в корпусе) с натягом. Надо, чтобы внутреннее кольцо напрессовывалось на вал с натягом, а наружное — в корпус с небольшим зазором, т. е. чтобы оно имело возможность незначительно проворачиваться во время работы.

Если запрессовку внутреннего и наружного колец осуществить с зазором, то это приводит к нарушению центрирования вала. Правильная запрессовка колец подшипников осуществляется с использованием специальных станков, оправок или винтовых устройств, позволяющих в первом случае передавать усилие запрессовки на торец наружного или внутреннего кольца или на торцы обеих колец при одновременной их напрессовке на вал и запрессовке в корпус. Если в узле устанавливается несколько подшипников, то для исключения перекоса их и заклинивания шариков необходимо обеспечить самоцентрирование наружных колец в радиальном и осевом направлениях. Выполняется это путем проверки «на качку» или поворотом вала. Чтобы облегчить условия сборки соединения вал — подшипник качения, рекомендуется последний нагреть в масляной ванне до температуры 80—100° С.

Сборка роликового подшипника отличается от сборки шарикового тем, что она производится отдельно: внутреннее кольцо с роликами и сепаратором — на вал, а наружное кольцо — в корпус. Радиальный зазор в этом случае регулируется смещением в осевом направлении наружного или внутреннего кольца с помощью регулировочного винта или гайки, или подбором соответствующего комплекта бумажных прокладок. Завершающей операцией сборки подшип-

ника с валом является установка специальных прокладок, предохраняющих рабочую зону подшипника от попадания пыли, грязи, влаги и удерживающих смазки.

Подшипники скольжения также бывают неразъемные и разъемные. Неразъемные представляют собой втулки, запрессовываемые в корпус в холодном виде или с нагревом корпуса и охлаждением втулки. Последние закрепляются в корпусе от проворачивания и, как правило, обрабатываются, так как у тонкостенных втулок внутренний диаметр уменьшается.

Разъемные представляют собой вкладыши (втулка как бы разрезанная по оси на две половины) и их сборка начинается с подгонки по шейкам вала, установки в корпус, укладки вала и регулировки.

Сборка зубчатых зацеплений выполняется в несколько этапов: сборка зубчатых колес на посадочные шейки вала; установка валов с колесами в корпус; регулировка их зацепления.

Сборка зубчатых колес с валом в зависимости от характера посадки может быть с зазором или с натягом. В первом случае сборка осуществляется вручную, а во втором — с помощью пресса. Иногда возникает необходимость в нагреве колеса и охлаждении вала.

Зубчатое зацепление будет нормальным в том случае, если оси ведущего и ведомого валов находятся в одной плоскости, параллельны и межцентровое расстояние выдержано в пределах допуска. При увеличенном межцентровом расстоянии (даже верхнем его пределе) увеличивается зазор в зацеплении зубьев, что приводит к ударам и преждевременному износу зубчатых колес.

Правильность зацепления проверяется по пятну контакта поверхности зубьев с помощью краски. Это пятно в среднескоростных передачах должно занимать не менее 60—65%, а в быстроходных — до 80% рабочей длины зуба и должно располагаться равномерно по обе стороны начальной окружности. При сборке деталей машин с большим количеством болтовых соединений необходимо помнить, что вначале затягиваются гайки, расположенные по середине, а затем — по концам детали. Если болтовые соединения расположены по окружности, то затягивание гаек производится крест-накрест.

Достаточную плотность соединения собираемых деталей можно контролировать методами замера величины удлинения болта или угла поворота гайки, но лучших результатов можно достичь, используя для затяжки гаек специальные тарированные ключи с заданной величиной крутящего момента.

8.4. Организационные формы сборки в машиностроении

По форме организации сборка может быть стационарной и подвижной. В первом случае изделие находится на одном неподвижном месте, к которому подаются все детали и узлы. Во втором случае изделие в процессе сборки перемещается от одного рабочего места к другому. При этом на каждом рабочем месте выполняется постоянно одна и та же операция одним рабочим или бригадой. Выбор формы сборки

определяется типом производства. Стационарная — в единичном и серийном производстве, подвижная — в крупносерийном и массовом.

Стационарная сборка может выполняться концентрированным и дифференцированным методами. В первом случае вся сборка машины из отдельных деталей производится от начала до конца одной бригадой. Процесс сборки не расчленяется на отдельные операции, на которых возможна специализация слесарей. Метод требует высокой квалификации всех сборщиков, непроизводителен и дорог. Применяется в единичном производстве.

В серийном и массовом производстве применяется дифференцированный метод сборки, который характерен тем, что сборочный процесс разбивается на ряд отдельных операций, каждая из которых выполняется отдельным рабочим или небольшой бригадой, специализированной на данной операции. Метод производителен и прогрессивен.

При выпуске изделий большими партиями применяют поточный метод стационарной или подвижной сборки. Стационарная поточная сборка характерна для сборки тяжелых и громоздких изделий, перемещение которых затруднительно. Собираемое изделие устанавливается на специальном стенде и к нему поочередно подходят бригады, которые выполняют свою операцию. После выполнения своей операции бригада переходит к следующему стенду и там выполняет тоже свои операции. Количество мест сборки должно быть равным числу операций плюс одно установочное.

При подвижной поточной сборке изделие находится обычно на конвейере и передвигается непрерывно или с некоторыми остановками через определенные промежутки времени.

Конвейер может быть главным и второстепенным. Главный конвейер обычно предназначен для общей сборки изделия, а второстепенный — для узловых.

Процесс сборки разбивается на такое количество операций, чтобы длительность каждой из них была равной или кратной такту выпуска изделия с данной поточной линии.

8.5. Методы сборки в машиностроении

В зависимости от того, как обеспечивается необходимая точность сопряжений собираемой машины, а также точность взаимного расположения различных поверхностей, сборку можно производить одним из следующих методов:

1. Метод полной взаимозаменяемости. Сущность метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена достигается у всех объектов путем включения в размерную цепь составляющих звеньев без какого-либо их выбора, подбора и подгонки.

Наиболее часто метод полной взаимозаменяемости используется для достижения требуемой точности в таких размерных цепях, как диаметр отверстия — зазор — диаметр валика и т. п., т. е. при относительно коротких размерных цепях и отсутствии довольно жестких допусков на размер замыкающего звена.

2. Для сборки ответственных сопряжений с весьма жесткими допусками на величину зазора и натяга используют так называемый метод группового подбора. При этом методе, применяемом обычно в серийном и массовом производстве, производится сортировка всех деталей на отдельные группы. Затем по отдельным группам сопрягаемых деталей производится сборка.

К недостаткам метода можно отнести: увеличение трудоемкости сборки; увеличение незавершенного производства; снижение уровня взаимозаменяемости; сужение возможности поставки взаимозаменяемых запасных и кооперируемых деталей.

Сортировка деталей чаще всего производится с использованием специальных сортировочных автоматов.

3. Метод селективной сборки в принципе мало чем отличается от метода группового подбора. Обычно число групп при селективной сборке берется несколько больше, а иногда прибегают и к методу единичного подбора. В этом случае можно выдержать допуски посадок по 5-му качеству точности при изготовлении деталей по 6 или 7-му уровням точности.

5. Метод регулирования предусматривает использование подвижных или неподвижных компенсаторов, за счет которых обеспечивается необходимая точность замыкающего звена и требуемое относительное расположение различных поверхностей.

5. Метод пригонки заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена достигается за счет изменения величины одного из заранее намеченных составляющих звеньев путем снятия с него необходимого слоя материала. Применяется в единичном и мелкосерийном производстве.

Раздел 5

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Глава 1

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

1.1. Основные понятия об автоматизации и направления ее развития

Автоматизация производственных процессов представляет собой комплекс мероприятий по разработке новых прогрессивных технологических процессов и проектированию на их основе высокопроизводительного технологического оборудования и оснастки, выполняющих рабочие и вспомогательные процессы без непосредственного участия человека.

Автоматизация — это комплексная конструкторско-технологическая задача создания новой техники на базе прогрессивных технологических методов обработки, контроля и сборки. Ни одна отрасль науки и техники не развивается сейчас столь динамично, как автоматизация. Она проникает во все сферы экономики, опережая развитие остальных отраслей. С этой точки зрения автоматизацию можно рассматривать как средство повышения производительности общественного труда и снижения себестоимости изготовления продукции, улучшения ее качества, высвобождения большого количества рабочих, сокращения производственных площадей и коренного улучшения условий и безопасности труда.

До недавнего времени основным направлением автоматизации в машиностроении была автоматизация технологических процессов механической обработки и создание соответствующего полуавтоматического и автоматического оборудования. В последние годы широко развернуты работы по автоматизации процессов сборки и контроля, внедрению ее в заготовительные и вспомогательные цехи. Очень высокая эффективность автоматизации на погрузочно-разгрузочных, складских и транспортных операциях.

Важнейшей задачей сегодняшнего дня является автоматизация управления предприятием и, прежде всего, сбор и обработка текущей информации о состоянии всех звеньев производственного процесса, системы учета и оперативного планирования. Решением этой задачи с помощью ЭВМ завершается автоматизация всего производственного процесса, как конечной ее цели.

В зависимости от количества охваченных автоматизацией операций и работ производственного процесса она подразделяется на частичную и комплексную. Частичная автоматизация заключается в том, что наряду с обычным оборудованием в цехах установлены и используются автоматы и полуавтоматы. Частичную автоматизацию

необходимо осуществлять в первую очередь для весьма трудоемких, тяжелых, профессионально вредных, монотонных и однообразных операций с целью освобождения рабочих от их выполнения.

Комплексная автоматизация производственного процесса является высшей формой автоматизации, при которой из технологического и вспомогательного оборудования создаются автоматические линии, участки, цехи и заводы с широким использованием ЭВМ, автоматических систем управления производством, систем управления качеством и т. д. При комплексной автоматизации появляется возможность осуществлять в едином потоке процессы получения заготовок и их механической обработки, контроля, термической или химико-термической обработки, сборки, окраски и упаковки. Непрерывная работа в едином потоке позволяет частично или полностью ликвидировать промежуточные склады, сократить производственные заделы и длительность цикла производства, упростить планирование производства и учет производимой продукции.

Широкое использование ЭВМ в промышленности позволило от комплексной автоматизации производственных процессов перейти на использование автоматизированных и автоматических систем управления сложными технологическими процессами и производствами, т. е. к созданию АСУТП (автоматизированной системы управления технологическими процессами).

Вопрос об автоматизации возник в связи с необходимостью массового выпуска деталей на специализированных участках, цехах и заводах. Исходя из этого и считалось до недавнего времени, что автоматизация выгодна и возможна только в условиях массового производства. Не умаляя ее значение и эффективность, а, наоборот, расширяя ее границы и возможности за счет унификации, нормализации и стандартизации в массовом производстве, можно утвердительно сказать, что автоматизация также выгодна и эффективна в условиях серийного и единичного производства.

Так как в общем объеме машиностроения серийное, мелкосерийное и единичное производства занимают еще значительную долю, то проблема их автоматизации в настоящее время является задачей первоочередной важности. От успешного решения этой задачи зависит уровень автоматизации отрасли и всей промышленности.

Наибольший результат достигается при решении вопросов автоматизации сложных и трудоемких операций механической обработки, сборки и других видов работ. В качестве средств автоматизации серийного и единичного производств используют станки и установки с программным управлением. Станки с программным управлением в серийном производстве применяют с индивидуальной управляющей программой. Для группы станков и переналаживаемых автоматических линий используют управляющие программы, фиксируемые в памяти ЭВМ.

Опыт эксплуатации станков с программным управлением показывает, что эффективность их использования резко возрастает при обработке на них деталей со сложно профилированными поверхностями, большим количеством технологических переходов и точно координи-

рованных отверстий. Это обусловлено тем, что отпадает необходимость в изготовлении сложных копиров, приспособлений, кондукторов и другой технологической оснастки. Автоматизация серийного, мелко-серийного и единичного производства в несколько раз повышает производительность труда и способствует улучшению качества механической обработки деталей.

Наиболее сложной задачей автоматизации производства оказалась автоматизация тех процессов, при осуществлении которых требуется обязательная ориентация заготовки относительно режущего инструмента, а характер относительного их движения подчиняется строгой кинематической зависимости, т. е. процессов механической обработки и сборки.

Гораздо легче поддаются автоматизации процессы, при выполнении которых не требуется ориентации заготовок, а рабочий инструмент представляет собой активную обрабатывающую среду. Примером таких процессов может быть термическая обработка, мойка, сушка, окраска, очистка заготовок в галтовочных барабанах, вибрационная обработка и др.

Все технологические процессы современного машиностроительного производства в зависимости от их непрерывности можно осуществить на машинах с периодическими остановками (перерывами) для выполнения определенных вспомогательных движений по установке и снятию обработанных заготовок, выполнению холостых ходов и др.; на машинах непрерывного действия (бесцентровое шлифование на проход гладких валков, прокатка сортового металла и др.) и на машинах, обеспечивающих непрерывность движений инструмента и обрабатываемых заготовок в одном транспортном потоке. К числу машин с периодическими остановками (машины дискретного действия) относятся автоматы и полуавтоматы, на которых в период обработки происходит чередование в выполнении основных (технологических) движений с движениями вспомогательного характера. К числу машин непрерывного действия относятся прокатные и волочильные станы, установки для поперечно-винтовой прокатки и другие, обеспечивающие высокую производительность и безотходность технологического процесса. К числу машин, обеспечивающих непрерывность движений инструмента и обрабатываемой заготовки, относятся машины роторного типа.

С точки зрения легкости в осуществлении автоматизации машины непрерывного действия находятся в лучшем положении.

Вопрос автоматизации машин дискретного действия, выполняющих, главным образом, операции механической обработки деталей и сборки из них изделий, является наиболее актуальным, несмотря на определенные трудности в его решении.

1.2. Системы автоматизации и их технологические характеристики

По принципу действия и технологическому обеспечению требуемого качества обработки деталей на автоматическом оборудовании системы автоматизации можно разделить на три основные группы [12].

Первая группа систем наиболее широко распространена в механо-сборочном производстве. К ней относятся циклические системы автоматизации, у которых технологический процесс осуществляется по заранее жестко установленной программе, и все действия оборудования во времени протекают в строгом соответствии с принятым циклом его работы.

Эти системы имеют централизованное устройство управления всеми элементами рабочего цикла. В качестве централизованного устройства используется вращающийся распределительный вал с сидящими на нем кулачками и упорами (командоаппарат). При вращении распределительного вала кулачки и упоры воздействуют на рычаги, толкатели и другие жесткие элементы, которые передают движение исполнительным органам станка. Кроме этого, каждый кулачок может непосредственно действовать на путевые переключатели или золотники гидравлических и пневматических устройств, а также включать и выключать вспомогательные электродвигатели данной технологической машины. На базе циклических систем автоматизации строят устройства управления, применяемые во многих автоматах и полуавтоматах для механической обработки деталей и сборки машин. В данном случае время выполнения технологической операции стабильно и определяется длительностью одного оборота распределительного вала командоаппарата. Преимуществом циклических систем является их простота и надежность в работе, а недостатком — нереагирование на возникающие в процессе работы отклонения в размерах, связанные с износом режущего инструмента, и необходимость постоянного регулирования и наладки. Используются эти системы автоматизации для одноконтурной обработки деталей, точность которых не ниже 9-го качества.

Ко второй группе относятся рефлекторные системы, у которых технологический процесс осуществляется по заранее намеченной программе в определенной последовательности. В отличие от циклических, в рефлекторных системах продолжительность цикла, предусмотренного программой действия, выдерживается менее точно из-за того, что отдельные этапы цикла начинают выполняться только после получения сигнала об окончании предшествующего этапа и получения команды на выполнение последующего. Например, при хонинговании или внутреннем шлифовании отверстий из-за различной величины припуска в заготовках время обработки будет переменным, а следовательно, и длительность цикла будет колебаться, т. е. процесс получения и подачи команд будет носить случайный характер.

Рефлекторные системы автоматизации рекомендуется применять при многоконтурной обработке и особенно на финишных ее операциях. Точность обработки при использовании этой системы выше, чем при использовании циклической, за счет осуществления автоматической проверки выполняемых размеров средствами активного контроля в процессе обработки.

К третьей группе относят самоподнастраивающиеся, самонастраивающиеся (адаптивные) и самооптимизирующие системы [3]. В самоподнастраивающихся системах применяются средства активного конт-

роля для измерения размера обработанной детали и подачи сигнала автоматическому подналадчику в случае, если размер ее вышел за пределы границ допуска на обработку. Самоподнастраивающиеся системы очень часто используются на шлифовальных станках, где возникновение систематических, закономерно изменяющихся погрешностей в результате износа шлифовального круга и тепловых деформаций станка неизбежны. Следовательно, при обработке партии деталей их размер будет непрерывно изменяться, что приведет к периодическому включению автоматического подналадчика. Так как эти системы осуществляют контроль размеров детали по выходным параметрам, то их часто называют системами с обратной связью.

В самонастраивающихся системах при обработке каждой заготовки режим работы оборудования устанавливается автоматически, обеспечивая при этом заданные качество обработки и производительность. В случае появления погрешности обработки, связанной с упругим отжатием технологической системы, возможно автоматическое изменение по определенному закону одной из составляющих режима резания.

1.3. Особенности проектирования технологических процессов для автоматизированных производств

Автоматизированное производство характеризуется наличием в нем определенного (в зависимости от степени автоматизации) качества автоматического оборудования, осуществляющего обработку как с обязательной ориентацией заготовки относительно режущего инструмента, так и без нее.

Основной целью автоматизации, будь она частичной или комплексной, является повышение производительности труда и снижение себестоимости изготовления продукции за счет применения высокопроизводительных машин и снижения затрат живого (настоящего) и овеществленного (прошлого) труда.

Проектирование технологических процессов автоматизированных производств отличается различной степенью углубленности выполняемых разработок для каждого конкретного случая. Например, технологический процесс автоматизированного производства нового завода будет отличаться от техпроцесса аналогичного производства при реконструкции завода или цеха, прежде всего, комплексностью решаемых задач, а следовательно, и трудоемкостью. В первом случае инициатива технолога не ограничивается такими условиями, как существующие производственные площади, годное к использованию оборудование и транспортные средства, сложившаяся схема грузооборота и т. д., а во втором эти условия будут требовать специализированного технологического проектирования. На отечественных машиностроительных заводах очень часто разработка автоматизации производства диктуется необходимостью коренного оздоровления и облегчения условий труда, а также необходимостью обеспечения требуемого качества изделий.

Условия автоматизации при проектировании технологических процессов требуют особого подхода к оценке технологичности конструкции

изделия. Конструкция изделия может быть вполне технологичной для обычного производства и мало или совершенно нетехнологичной в условиях автоматизированного производства, поэтому внесение согласованных с конструктором изменений в конструкцию изделия при разработке техпроцесса необходимо.

Технологию автоматизированного производства необходимо строить на основе высокопроизводительных методов обработки деталей и сборки из них машин. Это значит, что на всех этапах, начиная от заготовки, получаемой самыми современными точными методами, до испытания готовой машины, в разрабатываемом техпроцессе должны закладываться прогрессивные решения. К таким решениям можно отнести: возможное приближение конфигурации и размеров заготовки к конфигурации и размерам готовой детали; заданная производительность и качество обрабатываемых деталей должны обеспечиваться минимальными затратами времени на обслуживание оборудования и его быструю переналадку; стабильностью технологических операций во времени; непрерывностью обработки и сокращением ее цикла за счет применения простых в исполнении и надежных в работе приспособлений, режущих инструментов и т. д.

При проектировании технологических процессов автоматизированного производства особое внимание необходимо обращать на вопросы автоматической ориентации обрабатываемых заготовок, точности базирования при выполнении различных операций и внутрицеховому транспортированию, комплексности построения технологических процессов и технологического контроля, выполняемого без участия человека.

Как действующие, так и проектируемые технологические процессы можно оптимизировать по различным целевым функциям (наибольшей производительности, наименьшей себестоимости, наивысшей точности) в зависимости от конкретных условий. С этой важной задачей можно справиться на основе глубокого изучения физической сущности технологических процессов, установления закономерностей их протекания и тех параметров, воздействие на которые обеспечит наиболее эффективную интенсификацию производства и повышение его точности. При разработке технологических процессов в условиях обычных производств чаще всего прибегают к оптимизации отдельных и, как правило, лимитирующих операций. Результатом такой оптимизации является определение наивыгоднейших режимов резания и других условий обработки.

Разработка технологических процессов в условиях автоматизированного производства требует решения более сложной задачи — оптимизации технологического процесса в целом. В данном случае нельзя изолированно по каждой операции принимать решение, при котором эффективность ее будет наибольшей. Задача оптимизации технологического процесса в целом решается методом динамического программирования с учетом влияния предыдущих операций на последующие. Использование этого метода при решении вопроса оптимизации технологических процессов в целом дает возможность изменять как содержание операций, так и структуру техпроцессов.

Вопросу автоматизации вспомогательных операций при проектировании придается большое внимание, так как они могут отрицательно повлиять на всю технико-экономическую целесообразность автоматизации основных операций технологических процессов.

Автоматизированное производство характеризуется высокой надежностью в обеспечении заданной производительности и стабильностью качества обработки деталей, чего невозможно достичь без знания основных закономерностей и точных технологических расчетов с использованием математических методов и современных ЭВМ.

1.4. Специфика проектирования технологии механической обработки на автоматических линиях

Под автоматической линией подразумевается система связанных транспортирующими устройствами, автоматически действующих станков, имеющая единое управляющее устройство.

Преимущество автоматических линий состоит в том, что процесс обработки осуществляется непрерывно и без участия человека. Это обеспечивает высокую экономическую эффективность и качество изделий.

Дальнейшее развитие и совершенствование автоматических линий будет осуществляться по пути повышения их производительности, точности, надежности работы и стоимости. Одним из средств решения этих характеристик является нормализация и унификация отдельных сборочных единиц автоматических линий по принципу их агрегатирования.

По способу действия автоматические линии подразделяются на линии периодического (дискретного) действия, на которых обрабатываемые заготовки транспортируются из одной позиции на другую периодически, и непрерывного действия — роторные и цепные линии.

У первых время транспортировки — непроизводительная затрата, так как заготовки в этот период не обрабатываются. Во вторых линиях непроизводительных затрат нет, поэтому они очень производительны, но их технологические возможности уже по сравнению с линиями дискретного действия. Это необходимо учитывать при проектировании технологии обработки на автоматических линиях.

Главная цель и особенность проектирования технологического процесса автоматических линий заключается в том, чтобы решить следующие вопросы: синхронизацию работы и загрузки линии, т. е. достижение равной (или кратной) производительности на отдельных позициях; полную автоматизацию процесса, т. е. автоматизацию не только основных, но и вспомогательных переходов; максимально возможное по времени обеспечение заданной точности обработки; безаварийность линии путем использования различных приемов блокировки, сигнализации и резервирования; удобство транспортировки и базирования обрабатываемой заготовки; рациональный отвод стружки, подвод смазочно-охлаждающей жидкости и др.

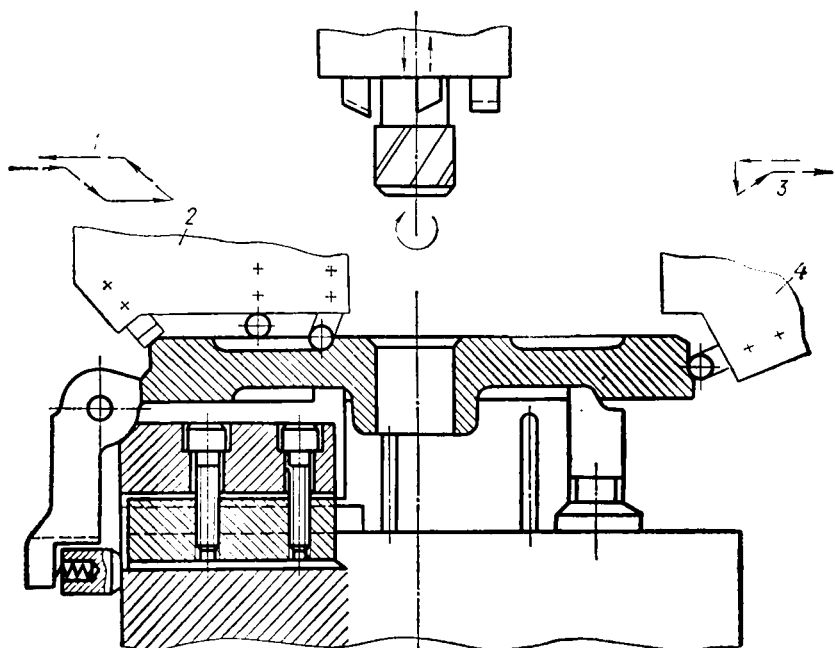


Рис. 195. Пример концентрированной обработки:

1 — цикл движений поперечного суппорта 2; 3 — цикл движений продольного суппорта 4

Проектируя техпроцесс, необходимо стремиться к максимально возможной концентрации обработки для уменьшения количества оборудования в линии. Это достигается применением многоинструментальных наладок (рис. 195) [10].

Исходные данные и порядок проектирования технологических процессов для автоматических линий мало чем отличаются от аналогичных данных и необходимой работы по проектированию техпроцессов для обычного производства. Перед началом проектирования производится предварительный расчет сроков окупаемости средств автоматизации с учетом того, что нормативный срок для автоматических линий установлен в пределах 3—5 лет [12, 18].

При разработке технологических процессов для любого вида производства вопросу анализа технологичности конструкции деталей придается первостепенное значение. Особенно важным такой анализ становится при проектировании механической обработки на автоматических линиях, где нетехнологичность конструкции детали может привести к необходимости искусственного усложнения линии за счет установки лишних кантователей или автооператоров. В значительной мере избежать этого можно за счет правильного выбора технологических баз (их постоянства и совмещения с измерительными и конструкторскими базами), обеспечивающих уменьшение числа различных положений детали на линии и упрощение транспортировки ее с одной позиции на другую.

Особое значение при проектировании обработки на автоматических линиях придается вопросам выбора структуры линии, установлению периода работы и времени групповой смены режущего инструмента, расчету настроечных размеров, емкостей промежуточных накопителей, конструированию при необходимости бункерно-загрузочных устройств, обеспечивающих автоматическую ориентацию деталей и заготовок, а также автоматический контроль в процессе обработки.

В целях обеспечения требуемой точности обработки на автоматических линиях во многих случаях рекомендуется применение получистовой обработки между предварительной и чистовой, а также вынесение предварительной обработки на отдельную линию. Определение величины припусков на обработку и промежуточных размеров заготовки по технологическим переходам производится более тщательно, расчет их осуществляется с использованием ЭВМ.

Рассчитанные и принятые режимы резания корректируются в соответствии с установленными периодами принудительной групповой смены инструментов, исходя из условия, что период смены их должен быть несколько меньше периода возможной стойкости. Большое внимание уделяется расчету оперативного времени по каждой позиции линии, так как по наиболее длительному из них устанавливается цикл работы всей линии.

Разработанный со всеми подробностями оптимальный вариант технологического процесса является основанием для определения типа и структуры автоматической линии, комплектации ее технологическим и вспомогательным оборудованием, а также размещения ее в цехе с учетом работы смежных производственных участков и организации производства в целом на уровне требований АСУТП.

1.5. Специфика проектирования технологии автоматической сборки

Технологический процесс автоматической сборки включает все операции: сборку, контроль, окраску, сушку, которые проходит собираемый узел или собираемое изделие в процессе сборки. Он существенно отличается от технологического процесса ручной и механизированной сборки. Это отличие проявляется, прежде всего, в использовании необходимого для сборки инструмента. При ручной сборке обычно используются простые инструменты, а при автоматической сборке одних и тех же изделий требуется сложный комплекс автоматически действующих устройств определенного назначения, которые называются сборочными автоматами. В конструкции сборочного автомата должны быть предусмотрены бункерно-ориентирующие устройства для деталей изделия, накопители, отсекатели, осуществляющие поштучную выдачу деталей из накопителя на сборочную позицию автомата, питатели, устройства для скрепления соединяемых деталей и контроля правильности соединения, а также механизмы для удаления собранного изделия из автомата. К каждому устройству и механизму сборочного автомата предъявляются достаточно высокие требования в части точного исполнения своих функций, но к ориентирующим уст-

ро主义ам они особенно высоки. Это объясняется тем, что от правильности и точности ориентации деталей, поступающих из чаши бункерно-загрузочного устройства, кассеты или магазина, во многом зависит возможность автоматической сборки вообще.

Автоматическая сборка выполняется чаще всего по принципу полной и реже частичной взаимозаменяемости, что требует весьма точного и качественного изготовления собираемых деталей. Она исключает пригонку и подбор деталей, свойственных ручной сборке.

Надежность и эффективность автоматической сборки значительно повышаются, если собираемые изделия конструктивно несложные и состоят из небольшого количества простых и симметричных по форме деталей.

Автоматическая сборка трудоемких, но технологических изделий в условиях поточного производства выдвигает ряд требований как к конструкции сборочных автоматов, так и к конструкции деталей, поступающих на сборку. Сборочный автомат, кроме высокой производительности и надежности, должен обладать и ремонтнопригодностью, т. е. способностью к быстрому обнаружению, легкому устранению и предупреждению отказов в работе. Конструкция деталей должна предусматривать исключение возможности сцепления их при выдаче из бункерно-ориентирующих устройств. Например, детали в виде разрезных колец с большим зазором в замке, пружины с неподжатыми торцевыми витками, штампованные планки и другие фигурные детали с отгибами, ребрами жесткости и т. д. могут взаимно сцепляться, образуя двух- и многозвенные цепочки, препятствующие нормальному поступлению их на сборку.

Для обеспечения лучшего направления и самоцентрирования сопрягаемые с зазором или натягом детали должны иметь направляющие (с углом 45°) фаски или заточки. Поверхности не должны иметь заусенцев, создающих трудности при движении деталей в лотках и направляющих устройствах сборочных автоматов. Конструкция изделий должна быть удобной для подвода и отвода сборочных инструментов по прямолинейным траекториям. Перечисленные требования к конструкциям деталей, изделий и автоматических устройств учитываются при проектировании технологических процессов автоматической сборки, в основу которой берется не простое копирование ручной сборки, а хорошо отработанная, проверенная и экономически обоснованная технология.

При проектировании технологии автоматической сборки необходимо помнить, что для изделий с большим количеством деталей во многих случаях полная автоматизация целесообразна только на узловой сборке, а общая сборка осуществляется с частичной автоматизацией.

Технологический процесс автоматической сборки устанавливает содержание и последовательность выполнения сборочных и вспомогательных операций, степень концентрации технологических переходов при обеспечении заданной точности и производительности, ориентацию и базирование деталей на сборочных позициях с сохранением принципа совмещения и постоянства баз. На базе этих разработок, расчетов и принятых решений производится выбор типа и основных

размеров оборудования и оснастки, установление режима работы сборочного оборудования, а также мероприятия по технологическому обеспечению надежной собираемости элементов изделия и стабильному протеканию технологического процесса автоматической сборки.

1.6. Автоматизация выполнения технологических операций с использованием роботов

Роботами принято называть универсальные автоматические системы, способные обучаться в процессе активного взаимодействия с окружающей средой и предназначенные для имитации разнообразных операций, совершаемых человеком в процессе физического или умственного труда.

Промышленный робот рассматривается как универсальный автомат с большим числом (от 3 до 10) степеней подвижности, управляемый средствами программного управления.

Основным типом исполнительных органов промышленного робота являются его механические руки — манипуляторы. Возможны и другие типы исполнительных органов, но все они предназначаются для «манипулирования» объектами, поэтому их также называют механическими манипуляторами.

В общем случае робот состоит из следующих систем (рис. 196): информационно-измерительной (сенсорной); управляющей; системы связи с человеком или другими роботами; исполнительной (моторной) системы [33].

Информационно-измерительная или сенсорная система — это искусственные органы чувств робота, предназначенные для восприятия и преобразования информации о состоянии внешней среды и самого робота в соответствии с потребностями управляющей системы, играющей роль «мозга» робота. Обычно в качестве элементов сенсорной системы робота используются телевизионные и оптико-электронные устройства, лазерные и ультразвуковые дальномеры, тактильные и контактные датчики, датчики положения, тахометры и т. д.

Управляющая система или «мозг» робота служит для выработки закона управления приводами механизмов исполнительной системы на основе сигналов обратной связи от сенсорной системы, а также для организации общения робота с человеком на том или ином языке. «Мозг» роботов обычно реализуется на базе управляющих малогабаритных транспортных ЭВМ, обладающих повышенной надежностью.

Система связи робота необходима для организации обмена информацией между роботом и человеком или другими роботами на некотором понятном им языке. В процессе такого обмена человек формулирует программу работы робота, организует диалог с ним, ведет контроль за его функционированием, диагностирует неисправности и т. д.

Исполнительная система, определяющая «моторику» робота, т. е. его способности совершать разнообразные движения, служит для обработки управляющих сигналов, формируемых управляющей системой, и воздействия на окружающую среду. В качестве исполнительных систем обычно используются механические руки (манипуляторы),

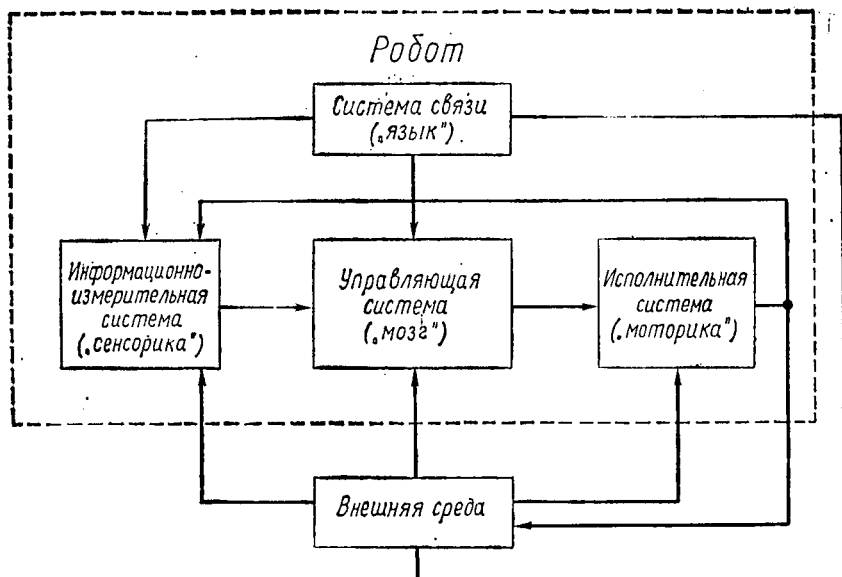


Рис. 196. Структурно-функциональная схема робота

механические ноги (педипуляторы), самоходные тележки, синтезаторы речи, графопостроители, а также их различные комбинации.

Промышленные роботы-манипуляторы предназначены для автоматизации операций по транспортировке и установке заготовок и обработанных деталей. Роботы используются также как сборочные машины для сборки простейших узлов. Очень широкое применение роботы получили при окрасочных, сварочных и других работах, условия проведения которых вредны для человека.

Применение роботов позволяет сократить количество рабочих на подсобных работах, заменить тяжелый, утомительный, однообразный ручной труд в опасных условиях. Роботы позволяют более полно использовать возможности технологического оборудования и повысить производительность труда.

Промышленные роботы классифицируются по следующим признакам: по назначению — универсальные и специальные; по типу приводов движений — гидравлические, пневматические, электрические и смешанные; по характеру движения руки — с вертикальным движением и поворотом и с шарнирным качанием; по конструкции пульта управления — программа задается на перфоленте, магнитной ленте или барабане, на панели со штеккерным набором и пульты, управляемые от ЭВМ; по техническим возможностям — роботы первого поколения, работающие по «жесткой» программе и требующие точного позиционирования деталей; роботы второго поколения, способные приспосабливаться к окружающей обстановке и не требующие точного позиционирования деталей; роботы третьего поколения, способные воспринимать окружающую обстановку и в зависимости от нее

самостоятельно выбирать направление движения для достижения конечной цели, — «разумные» роботы. Кроме этого, роботы классифицируются еще в зависимости от веса поднимаемых деталей, величины раскрытия захватов, величины подъема и выдвижения руки.

В зависимости от принятой системы управления роботы можно классифицировать на три группы: упрощенные роботы — манипуляторы с ЦПУ; роботы-манипуляторы с ЧПУ; роботы, управляемые от ЭВМ.

Выбор робота-манипулятора с той или иной системой управления зависит от требуемой сложности выполняемых им функций и требуемой частоты переналадки его на новую программу. Если переналадки осуществляются не часто и программы сравнительно несложные (до 100—200 этапов), целесообразно использование роботов с ЦПУ. Такие условия соответствуют среднесерийному, крупносерийному и массовому производству при обслуживании роботом одного — двух станков. Роботы-манипуляторы с ЦПУ удобны для переналадки.

При частых переналадках и большой сложности программы используют обычно роботы с ЧПУ, а при очень большой сложности программы — роботы, управляемые от ЭВМ, что соответствует мелкосерийному производству.

Большое значение роботы приобретают на сборочных операциях, освобождая человека от однообразной утомительной работы по свинчиванию, закреплению, клеймению и др.

Сборочные роботы, обладая большими технологическими возможностями, могут работать как индивидуальные установки, но могут быть и встроены в автоматические поточные сборочные линии (рис. 197). Возможна также параллельная работа нескольких роботов в одной установке [14].

Сборочные роботы могут применяться и в комплексе с другим сборочным оборудованием, например, круглыми индексирующими столами и т. д. Главным назначением сборочных роботов является узловая и общая сборка изделия. Если собираемое изделие несложное, то общая и узловая сборки его осуществляются усилием руки одного робота, а общая сборка сложного изделия — с использованием нескольких роботов. В качестве инструмента сборочных роботов чаще всего используются различные захваты, гайковерты, винтоверты и другой сборочный инструмент.

В отличие от автоматизации с помощью специализированных автоматических устройств автоматизация с применением роботов имеет следующие преимущества: более короткий срок внедрения; относительно малые затраты при переводе робота с одной работы на другую (благодаря универсальности); низкая стоимость отладки робота (только при изготовлении на заводе в отличие от специализированных автоматических устройств, отладка которых производится при внедрении); применение роботов дает возможность быстро составить для них программу и перевести для выполнения работ на вновь установленном оборудовании; возможность объединять оборудование в специальные технологические комплексы различного масштаба, не связанные жестко по планировке и числу комплектующих агрегатов.

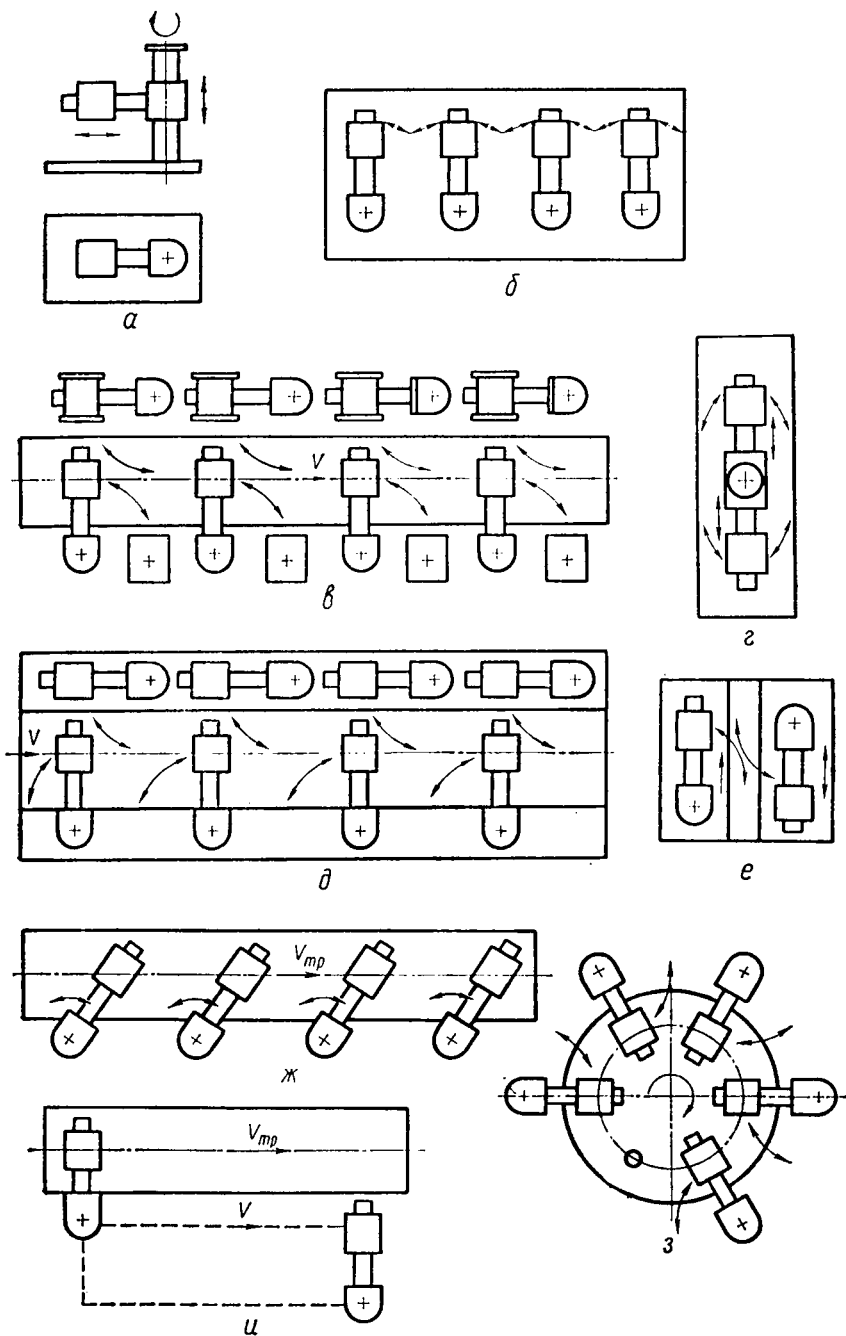


Рис. 197. Схемы компоновки сборочных машин из роботов

Будущее роботов в огромной степени зависит от прогресса в области развития ЭВМ, так как их производительность и универсальность определяются, в основном, программным обеспечением управляющей ЭВМ, быстродействием ее элементов, организацией их соединения и взаимодействием, т. е. архитектурой управляющей ЭВМ.

1.7. Основные направления развития автоматизации в машиностроении

Несмотря на все очевидные преимущества специализации и концентрации в машиностроении, их использование с наибольшей эффективностью обеспечивается в условиях массовых и крупносерийных производств. Однако анализ машиностроительного производства в СССР, США и технически развитых странах Западной Европы показывает, что 70—75% всего объема выпускаемой продукции металлообрабатки производится на предприятиях единичного и мелкосерийного производства, т. е. там, где условий для автоматизации производственных процессов недостаточно.

Решение проблемы автоматизации единичного и мелкосерийного производства началось с момента внедрения в практику металлообработки станков с числовым программным управлением. Станки с ЧПУ в существенной степени определяют научно-технический процесс в станкостроении, от технического уровня которого зависит успешное решение многих задач в машиностроении. Именно с этим связаны опережающие темпы производства станков с ЧПУ в XI пятилетке.

Пристальное внимание к производству станков с ЧПУ наблюдается во всех промышленно развитых странах. И это неудивительно, так как один станок с ЧПУ заменяет от 3 до 8 обычных станков с занятыми на них рабочими; в три раза увеличивается объем производимой продукции с одновременным улучшением ее качества и повышением точности изготовления; благодаря применению оптимальных процессов резания и снижению брака себестоимость продукции снижается на 10—80%. Подготовка станочника средней квалификации для обслуживания станков с ЧПУ составляет в среднем 3—3,5 месяца, а для работы на универсальных станках не менее 4—5 лет.

При подготовке производства одной из наиболее трудоемких работ является изготовление специальных приспособлений для установки деталей и специального мерительного инструмента, а при автоматизированном производстве и изготовлении сложных деталей — изготовление копиров, шаблонов и кулачков. Программное управление значительно, (примерно в 4—6 раз) сокращает сроки наладки и переналадки станка, количество требуемых приспособлений и тем самым суммарное время подготовки производства, наладки и изготовления сложных деталей.

Применение программного управления станками открывает новые возможности для крупносерийного и массового производства, так как вместо автоматических станков и линий, настроенных раз и навсегда на производство деталей одного типа или даже какой-то детали, можно использовать перенастраиваемые многономенклатурные автоматиче-

ские линии, выпускающие целый набор однотипных, а порой и неоднотипных изделий.

Применение станков с ЧПУ дает возможность организовать централизованную подготовку технологического процесса с помощью системы автоматизированного проектирования с привлечением наиболее квалифицированных специалистов и, в первую очередь, технологов данной отрасли. Разработанная таким образом документация и программы рассылаются на другие заинтересованные предприятия по почте. Станки с ЧПУ позволяют конструктору при проектировании выбирать не одни простейшие поверхности, а любые с требующимися ему характеристиками.

Однако применение станков с ЧПУ не решает вопроса потери времени на транспортировку и переустановку заготовок с одного станка на другой в случаях необходимости применения различных методов обработки.

Для деталей, при изготовлении которых требуются различные методы обработки (точение, фрезерование, сверление), целесообразным является применение многоинструментальных станков с ЧПУ (обрабатывающих центров). С их помощью осуществляется автоматический цикл обработки заготовок различными методами и различными автоматически сменяемыми инструментами при одном закреплении каждой заготовки.

Классификация многоинструментальных станков с ЧПУ осуществляется по числу управляемых координат, расположению оси шпинделя (горизонтальное, вертикальное, наклонное), типу стола или устройства для смены заготовок и другим признакам. Некоторые многоинструментальные станки с ЧПУ позволяют осуществлять и такие методы обработки, как протягивание шпоночных и шлицевых каналов, запрессовку втулок и местную индукционную закалку.

Применение многоинструментальных станков с ЧПУ в металлообработке позволяет сократить затраты вспомогательного времени и длительность производственного цикла обработки заготовок, связанную с их переустановками, транспортированием и межоперационным пролеживанием. Однако задача полной обработки сложных заготовок на многоинструментальных станках с ЧПУ за одну операцию не решается, так как не отпадает необходимость в межоперационном транспортировании и складировании заготовок, что приводит к производственным потерям.

Недостатки, свойственные этим станкам, и связанные с ними потери времени устраняются в интегрированных производственных системах с ЧПУ, обладающих автоматическим технологическим маршрутом.

Интегрированная производственная система состоит из нескольких обычных и многоинструментальных станков с ЧПУ, взаимно дополняющих друг друга и связанных между собой общей транспортной системой.

В интегрированную производственную систему входят устройства для автоматического контроля, межоперационные склады-накопители, устройства для ориентации, закрепления и смены заготовок на

станках. Все органы интегрированной производственной системы управляются от ЭВМ по заданной программе.

Примерами таких систем могут быть: интегрированная производственная система ЭНИИМСа для обработки заготовок вращения, представляющая собой автоматизированный производственный участок из станков с групповым программным управлением, предназначенным для изготовления деталей вращения различной конфигурации в количестве 100 000 шт/год при двухсменной работе; интегрированная производственная система «Рота-125» (ГДР), в которой объединены станки с ЧПУ для выполнения токарной обработки, парезания резьбы, сверления, фрезерования и шлифования; интегрированная производственная система «Оргстанкинпрома», на которой осуществляется комплексная обработка заготовок типа корпусов, кронштейнов, рычагов, крышек, корпусных и других заготовок среднего размера в условиях мелкосерийного производства.

Для рационального использования многоинструментальных станков с ЧПУ и интегрированных производственных систем необходимо добиваться их полной загрузки и правильного определения области применения.

Рекомендации по их использованию можно свести к следующему:

1. В условиях единичного и мелкосерийного производства, отличительной особенностью которых является постоянно меняющаяся номенклатура и большое разнообразие обрабатываемых заготовок, целесообразно использовать многоинструментальные станки с ЧПУ или интегрированные производственные системы, состоящие из нескольких взаимозаменяемых станков.

Использование многоинструментальных станков с ЧПУ оправдано в том случае, если: группа обрабатываемых заготовок представлена несколькими изделиями с годовой программой их изготовления, не превышающей возможности одного станка по производительности при нормальной его эксплуатации; не допускаются переустановки заготовки и перезакрепление их; из-за значительных габаритов и большой массы заготовок перемещение их на спутниках интегрированной производственной системы затруднено.

2. В условиях серийного производства, когда серии однотипных заготовок сменяются через определенное время, обработку их следует осуществлять на обычных станках с ЧПУ или интегрированных производственных системах, состоящих из взаимодополняющих станков.

Многоинструментальные станки с ЧПУ с многошпиндельными головками и многоинструментальными наладками обычно снижают гибкость системы, но резко повышают ее производительность, поэтому их рекомендуют использовать в крупносерийном производстве.

На выбор типа автоматизированного оборудования для обработки тех или иных заготовок существенное влияние оказывает соотношение основного и вспомогательного времен в общей трудоемкости механической обработки.

Если основное время обработки заготовок незначительное, то ее надо производить на многоинструментальных станках с ЧПУ, так как использование интегрированных производственных систем с час-

тыми переустановками будет еще больше увеличивать долю вспомогательного времени. При большой величине основного времени обработки, наоборот, целесообразнее использовать интегрированные производственные системы и станки с ЧПУ, на которых смена обрабатываемых заготовок осуществляется вручную.

В условиях массового производства, для которого характерна длительная несменяемость объектов производства и непрерывность обработки, незаменимыми являются автоматические линии, состоящие из высокопроизводительных специализированных станков и современных станков-автоматов с системами ЧПУ, технологические возможности которых не ограничиваются только одной механической обработкой заготовок, но и другими операциями технологического процесса изготовления изделий.

Глава 2

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

2.1. Основные понятия числового управления и технологические преимущества станков с программным управлением

Механическая обработка детали на металлорежущем станке может осуществиться только при наличии относительных перемещений (ходов) заготовки и режущего инструмента. Очевидно, при обработке партии деталей такие перемещения должны повторяться по мере поступления новой заготовки на станок, т. е. обработка осуществляется с определенным циклом, характеризуемым величиной ходов и их последовательностью. Таким образом, планируя цикл обработки, мы должны определить величину каждого хода и последовательность их выполнения. Если деталь обрабатывается на автомате, то программа его работы должна содержать информацию размерного характера (величина ходов цикла) и временного в виде соответствующих команд на выполнение (последовательность) ходов.

От того, каким способом будет задана размерная информация, все системы управления технологическим оборудованием разделяются на два класса: нечисловые (кулачковая, копировальная, путевая, временная, цикловая) или непрерывные и числовые, у которых величина каждого хода задается при помощи числа. В числовых системах каждой единице информации соответствует дискретное перемещение исполнительного органа станка на определенную величину. Эта величина носит название разрешающей способности системы или цены импульса. Зная цену импульса q и величину требуемого перемещения исполнительного органа L , можно определить число импульсов N , которое нужно подать в вход привода, чтобы осуществить требуемое перемещение $N = \frac{L}{q}$. Число N , записанное на носителе информации, является программой, определяющей величину размерной информа-

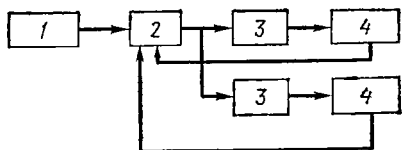


Рис. 198. Структурная схема системы числового управления:

1 — узел считывания информации с программносителя; 2 — узел управления системой; 3 — целевые механизмы, осуществляющие основные и вспомогательные движения цикла; 4 — узлы обратной связи, контролирующей величину перемещения целевых механизмов

ции. Записывается это число на перфоленте или магнитной ленте в определенной системе кодирования. Структурная схема системы числового управления представлена на рис. 198.

В зависимости от наличия обратной связи системы числового управления подразделяются на открытые или разомкнутые и закрытые или замкнутые. У первых обратная связь отсутствует, а вторые обратную связь имеют.

В зависимости от технологических условий системы числового управления делятся на позиционные, контурные и универсальные (рис. 199).

Позиционные системы применяют для автоматизации сверлильных, координатно-расточных, а также токарных и фрезерных станков при обработке ступенчатых поверхностей.

В контурных системах по каждой оси координат программируется величина хода и закон перемещения. При сложении перемещений по отдельным осям координат можно обеспечить обработку сложных криволинейных поверхностей на токарных и фрезерных станках.

Универсальные системы объединяют контурную и позиционную системы. Этими системами оснащают станки многоцелевого назначения.

Число управляемых координат задают дробью: $\frac{2}{1}, \frac{2}{2}, \frac{3}{1}, \frac{3}{2}, \frac{3}{3}, \frac{4}{2}, \frac{4}{3}, \frac{4}{4}$, где числитель показывает число управляемых коор-

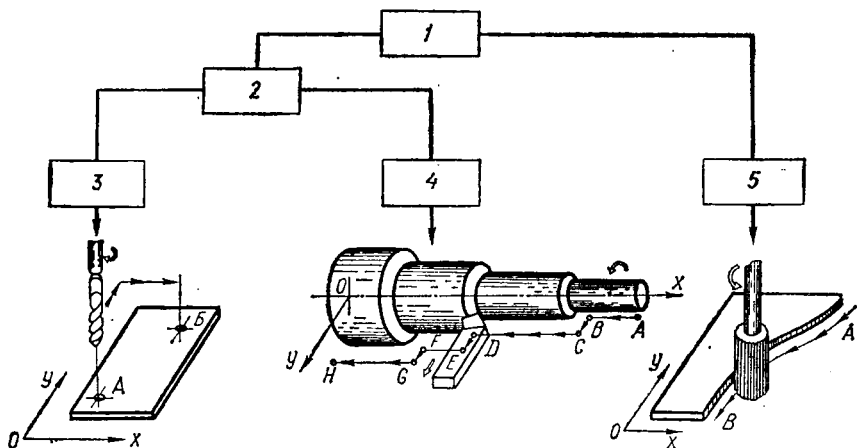


Рис. 199. Классификация систем ЧПУ по технологическим условиям:

1 — ЧПУ; 2 — позиционные системы управления; 3 — с программированием отдельных точек (А и В); 4 — с программированием отрезков прямых (АВ, ВС, СД, ДЕ, ЕФ, FГ, GH); 5 — контурные системы управления с программированием криволинейных профилей

динат станка, а знаменатель — число одновременно управляемых координат.

По способу передачи информации системы управления программными станками подразделяются на дискретные, непрерывные и смешанные. В дискретных системах информация передается импульсами тока, а в непрерывных — непрерывно в процессе работы станка.

Станки с программным управлением по сравнению с обычными станками имеют некоторые преимущества: высокая степень автоматизации и широкая универсальность выполняемой обработки; экономия времени на перенастройку станка с одной операции на другую; отпадает необходимость в конструировании и изготовлении сложных приспособлений, копиров, кулачков и т. д., что значительно уменьшает время технологической подготовки производства; повышение производительности труда в 5—10 раз за счет сокращения вспомогательного времени на холостые ходы, устранения разметки и оптимизации условий обработки; повышение точности обработки и качества изделий, так как они не зависят от уровня квалификации рабочего; сокращение производственных площадей, так как один станок с программным управлением может заменить несколько универсальных станков; снижение квалификации и количества рабочих, улучшение условий их труда, повышение культуры производства и др.

Станки с программным управлением по сравнению с обычными автоматами имеют существенную особенность, заключающуюся в изменении характера программирования. Если наладка обычного автомата представляет собой сугубо ручной процесс, механизация и автоматизация которого практически невозможна, то на станках с программным управлением наоборот — ручной труд исключается. Сущность программирования — математический расчет координат узловых точек. Процесс программирования сводится к определенной совокупности математических и логических операций. Все эти действия могут быть автоматизированы с использованием ЭВМ.

2.2. Программирование обработки для станков с числовым программным управлением

Определенный порядок работы станка задается с помощью системы команд. При ручном управлении все команды исходят от рабочего, работающего на данном станке, а при автоматическом — от специального управляющего устройства, оформленного в виде отдельного пульта управления. В последнем случае система команд фиксируется на некотором материальном носителе информации — программоносителе — и носит название программы работы станка. В качестве программоносителей для станков с ЧПУ используют перфокарты, перфоленты, магнитные ленты, магнитные диски или барабаны, а также память ЭВМ.

Программа должна быть записана на определенном языке, называемом языком программирования. Язык программирования — это определенный набор символов и правил, устанавливающий способы комбинации этих символов для записи осмысленных сообщений

(текстов). Различают естественные языки, как средство общения людей в повседневной жизни, и искусственные, как средство общения человека и машины или только машин между собой.

Процесс составления программы носит название программирования обработки. Программирование считают ручным, если перевод информации с языка технической документации на язык каждого конкретного станка с ЧПУ осуществляется непосредственно человеком. ЭВМ также, как и каждый станок с ЧПУ, имеют собственные языки программирования и исполняют программы, записанные только на этих языках. Каждый из них называется машинным языком данной ЭВМ.

Программирование на машинном языке является чрезвычайно трудоемким процессом, требующим от программиста специальных знаний, навыков и высокой квалификации. Если учесть, что программа, составленная для одной машины, не годится для другой, то перечисленные трудности могут быть решены только путем создания промежуточных искусственных языков. Все промежуточные искусственные языки классифицируются по степени зависимости языка от машины и делятся на две большие группы: машинно-зависимые и машинно-независимые.

К группе машинно-зависимых языков относят уже упомянутые нами машинные и машинно-ориентированные языки, сохраняющие связь с определенной машиной.

Машинно-независимые языки по степени детализации программы подразделяются на две группы: процедурно-ориентированные и проблемно-ориентированные. Процедурно-ориентированные языки предназначены для описания алгоритмов (процедур) решения задач, поэтому их называют еще алгоритмическими языками. Например, АЛГОЛ-60, ФОРТРАН, разработанные для решения задач вычислительной математики, и КОБОЛ, АЛГЭК, АЛГЭМ — для решения экономических задач и обработки данных. Программа на процедурно-ориентированном языке не зависит от конкретной машины, на которой будет решаться задача. Структура этого языка ближе к естественному языку и от программиста не требуется знания устройства машины.

Проблемно-ориентированные языки не требуют подробной записи алгоритма решения задачи. Здесь пользователю следует лишь указать формулировку задачи или назвать последовательность задач из заранее подготовленного набора, дать исходные данные и требуемую форму выдачи результатов. Эта информация используется специальной программой-генератором для генерирования рабочей программы. Эти языки легко осваиваются любым инженером, поэтому потребность в математике-программисте для ЭВМ отпадает. Трудоемкость программирования незначительная. Составленная на проблемно-ориентированном языке программа записывается на перфокарте и непосредственно вводится в машину.

Для подготовки программ станков с ЧПУ также созданы проблемно-ориентированные языки. Здесь информация с языка технической документации переводится на проблемно-ориентированный про-

межучетный язык программистом. Далее эта информация автоматически переводится на машинный язык, на котором осуществляются необходимые расчеты. После выполненных расчетов информация переводится на язык станка и выдается в форме, пригодной для управления им. Так как трудоемкость составления программ сокращается в десятки и сотни раз, то составление их на самые сложные циклы обработки не представляет особых трудностей. Такой способ составления программ называется машинным или автоматическим.

Машинное программирование для станков с ЧПУ возможно лишь при наличии соответствующих программ: программы-транслятора для перевода информации с проблемно-ориентированного языка на машинный язык; программы-процессора для преобразования информации на машинном языке; программы-постпроцессора для перевода информации с машинного языка на язык конкретного станка. Совокупность указанных программ составляет систему автоматического программирования (САП), а проблемно-ориентированный язык называют вводным или входным языком САП.

Этапами машинного программирования являются: технологическое программирование; составление программ для ЭВМ на языке САП; расчет программ на ЭВМ; контроль программ; отладка и внедрение программ.

Особенностью автоматически управляемых систем является то, что в них происходит процесс приема, накопления, преобразования и передачи информации. Одну и ту же информацию можно представлять различными способами, но со строгим выполнением главного условия — однозначность представления информации и ее различимость.

Представление информации и перевод из одной ее знаковой системы в другую при полном сохранении содержания называется *кодированием* информации. Кодирование применяют при передаче, хранении и преобразовании информации. Способ однозначного представления ее на этих уровнях в виде системы соответствий между элементами сообщений и сигналами, при помощи которых эти элементы можно фиксировать, называется *кодом*.

Наиболее простым является унитарный (единичный) код, используемый для преобразования информации из кодированного вида в единичную систему счисления. Сущность унитарного кода состоит в том, что каждому единичному перемещению исполнительного органа станка на дорожке перфоленты соответствует одно пробитое отверстие. Недостаток этого кода заключается в необходимости использования очень длинных перфолент. Его чаще всего используют для записи на магнитную ленту, где плотность записи очень высокая. Величина перемещения исполнительного органа от одного импульса программы называется ценой импульса (0,01 мм, 0,1 мм, 1,0 мм).

Расход перфоленты значительно уменьшается за счет более компактной записи информации унитарно-десятичным кодом. Этот код предусматривает запись десятичного числа на разных дорожках перфоленты. Пример записи в унитарно-десятичном коде числа 256 показан на рис. 200, а [12].

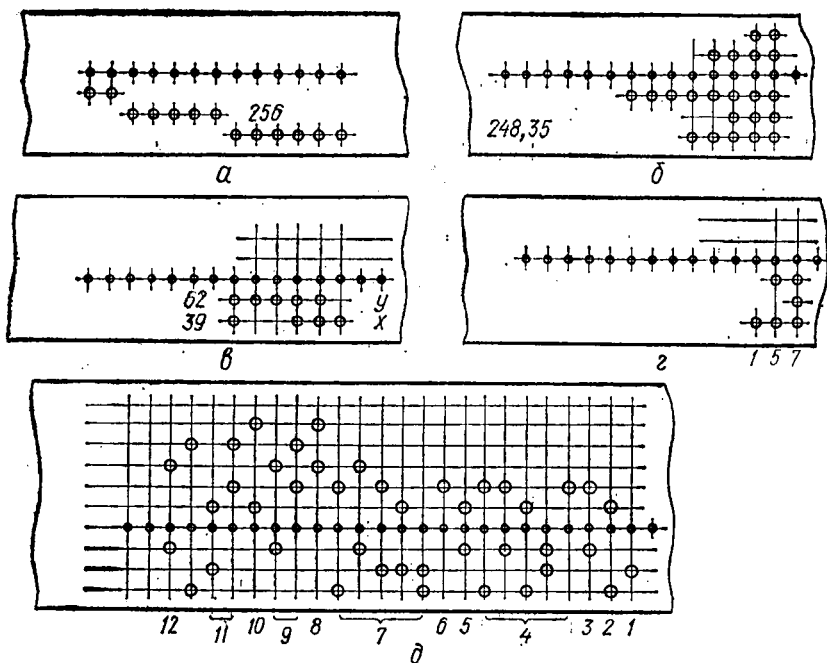


Рис. 200. Запись чисел в различных кодах

Более плотную запись информации на перфоленте можно осуществить за счет применения десятичного кода. В основу этого кода положена возможность представления любого числа, например, 248,35 в виде суммы произведений: $2 \cdot 10^2 + 4 \cdot 10^1 + 8 \cdot 10^0 + 3 \cdot 10^{-1} + 5 \cdot 10^{-2}$. В общем случае любое десятичное число является суммой произведений цифр от 0 до 9 на 10 в степени, определяемой порядком числа. Этот код, имея наибольшую наглядность при записи цифрами на бумаге, вызывает большие трудности при реализации в схеме вычислительной техники. Читающее устройство не может в одной строке различать десять всевозможных цифр. Для записи необходимо иметь столько дорожек перфоленты, сколько разрядов имеет записываемое число.

На рис. 200, б показан пример записи на перфоленту числа 248,35 в десятичном коде. Из рисунка видно, что для записи любого числа каждая дорожка должна иметь участок перфоленты, рассчитанный на десять отверстий.

По сравнению с ранее рассмотренными кодами несколько большую плотность записи информации на перфоленту или магнитную ленту обеспечивает двоичный код. Основа двоичного кода — число два. Для представления любого числа в двоичном коде необходимо разложить его на сумму степеней числа два в убывающем порядке. В этой работе

определенные удобства и производительность создает следующая таблица:

1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	16384	32768
2^0	2^1	2^2	2^3	2^4	2^5	2^6	2^7	2^8	2^9	2^{10}	2^{11}	2^{12}	2^{13}	2^{14}	2^{15}

В верхней строке записан ряд чисел, а в нижней — ряд тех же чисел в виде степеней с основанием два. В качестве примера представим число 39 в двоичном коде, для чего запишем его в виде суммы убывающих чисел: $39 = 32 + 4 + 2 + 1 = 2^5 + 2^2 + 2^1 + 2^0$. В этой сумме отсутствуют члены ряда 2^3 и 2^4 . По приведенной ранее таблице им приписывается цифра 0, а членам 2^0 , 2^1 , 2^2 и 2^5 — цифра 1. Таким образом, в двоичном коде число 39 запишется 100111. Число 64 в соответствии с таблицей — 2^6 и записывается в двоичном коде 1000000, а число $62 = 32 + 16 + 8 + 4 + 2$ как 111110. Пример записи чисел 39 и 62 на параллельных дорожках перфоленты представлен на рис. 200, в. Эти числа характеризуют величины перемещений рабочего органа по координатным осям X и Y.

При двоичном коде имеются только два дискретных состояния «да» или «нет», обозначаемые цифрами «1» и «0». Пробитое отверстие в перфоленте соответствует цифре «1», а отсутствие его — цифре «0». Если в качестве программносителя используется магнитная лента, то намагниченный ее участок соответствует цифре «1», а ненамагниченный — цифре «0».

Двоично-десятичный код является двоичным по форме и десятичным по существу. В нем сочетается удобство десятичного кода и компактность записи двоичного. Вместо десятичных цифр используется форма их представления в виде четырехразрядного двоичного числа (тетрады):

0 — 0000; 1 — 0001; 2 — 0010; 3 — 0011; 4 — 0100;
5 — 0101; 6 — 0110; 7 — 0111; 8 — 1000; 9 — 1001.

Например, число 157 в двоично-десятичном коде должно быть записано тремя тетрадами 000101010111. Каждая цифра десятичного числа записывается двоичным кодом поперек перфоленты на соответствующей строке. Число строк записи соответствует числу знаков десятичного числа. На рис. 200, г показан пример записи числа 157 на перфоленте в двоично-десятичном коде. Двоично-десятичный код наиболее распространен. В специальных случаях записи управляющих программ могут использовать и другие коды: код Грея, восьмеричный, видоизмененный двоично-десятичный и др.

В отечественной промышленности информацию для станков с ЧПУ записывают с помощью двух кодов: буквенно-цифрового кода БЦК-5 для пятидорожечной ленты; буквенно-цифрового кода ИСО—7 бит для восьмидорожечной ленты (рис. 200, д). В западноевропейских странах и США управляющие программы для станков с ЧПУ записывают в коде EIA и других.

Код БЦК-5 позволяет регистрировать на перфоленте цифры 0, 1, 2, 3, ..., 9 и буквы Н, Е, Д, Т, К, П, Ш, С, В, Я. Цифры используются

Код перфоленты										Символы	
Дорожки										Обозначение	Содержание
8	7	6	5	4	Tr	3	2	1	Русское	Международное	
•	•	•	•	•	•	•	•	•		0	Ноль
•	•	•	•	•	•	•	•	•		1	Единица
•	•	•	•	•	•	•	•	•		2	Двойка
•	•	•	•	•	•	•	•	•		3	Тройка
•	•	•	•	•	•	•	•	•		4	Четверка
•	•	•	•	•	•	•	•	•		5	Пятерка
•	•	•	•	•	•	•	•	•		6	Шестерка
•	•	•	•	•	•	•	•	•		7	Семерка
•	•	•	•	•	•	•	•	•		8	Восьмерка
•	•	•	•	•	•	•	•	•		9	Девятка
•	•	•	•	•	•	•	•	•		%	Начало программы
•	•	•	•	•	•	•	•	•		+	Плюс
•	•	•	•	•	•	•	•	•		-	Минус
•	•	•	•	•	•	•	•	•		/	Дробная черта, Пропуск кадра
•	•	•	•	•	•	•	•	•		A	Угловой размер вокруг оси X
•	•	•	•	•	•	•	•	•		B	Угловой размер вокруг оси Y
•	•	•	•	•	•	•	•	•		C	Угловой размер вокруг оси Z
•	•	•	•	•	•	•	•	•		D	Третья функция подачи
•	•	•	•	•	•	•	•	•		E	Вторая функция подачи
•	•	•	•	•	•	•	•	•		F	Функция подачи
•	•	•	•	•	•	•	•	•		G	Подготовительная функция
•	•	•	•	•	•	•	•	•		I	Координата начальной точки дуги по оси X
•	•	•	•	•	•	•	•	•		J	Координата начальной точки дуги по оси Y
•	•	•	•	•	•	•	•	•		K	Координата начальной точки дуги по оси Z
•	•	•	•	•	•	•	•	•		L	Функция коррекции
•	•	•	•	•	•	•	•	•		M	Вспомогательная функция
•	•	•	•	•	•	•	•	•		N	Номер кадра
•	•	•	•	•	•	•	•	•		S	Скорость вращения шпинделя
•	•	•	•	•	•	•	•	•		T	Функция инструмента
•	•	•	•	•	•	•	•	•		X	Размер первичного движения по оси X
•	•	•	•	•	•	•	•	•		Y	Размер первичного движения по оси Y
•	•	•	•	•	•	•	•	•		Z	Размер первичного движения по оси Z
•	•	•	•	•	•	•	•	•		U	Размер вторичного движения по оси X
•	•	•	•	•	•	•	•	•		V	Размер вторичного движения по оси Y
•	•	•	•	•	•	•	•	•		W	Размер вторичного движения по оси Z
•	•	•	•	•	•	•	•	•		P	Размер третичного движения по оси X
•	•	•	•	•	•	•	•	•		Q	Размер третичного движения по оси Y
•	•	•	•	•	•	•	•	•		R	Размер третичного движения по оси Z
•	•	•	•	•	•	•	•	•	ПУС	NUL	Пусто
•	•	•	•	•	•	•	•	•	ПС	LF	Конец кадра
•	•	•	•	•	•	•	•	•	ГТ	HT	Табуляция
•	•	•	•	•	•	•	•	•	ЗБ	DEL	Забой

Рис. 201. Код по ГОСТ 13052—74 и ISO для ЧПУ

для записи размерной информации, а буквы — для записи команд. Для кодирования цифр применяют двоично-десятичный код 8421.

Более перспективным является буквенно-цифровой код ИСО—7 бит, который рекомендован в качестве международного кода. В соответствии с ГОСТ 13052—74, и рекомендациями ISO составлена кодовая таблица символов (рис. 201), используемых при кодировании управляющих программ обработки на станках с ЧПУ 7-битным кодом на восьмидорожечной перфоленте шириной 25,4 мм.

Так как контроль перфоленты осуществляется устройством ЧПУ на четность, то восьмая дорожка используется для добавления проверочного восьмого бита в каждой кодовой строке, состоящей из нечетного числа перфораций (пробивок). Символу ПУС (NUL) — пусто — соответствует чистая строка без кодовых перфораций. Символу ЗБ (DEL) — забой — соответствует строка с перфорациями на всех дорожках. Символ ЗБ предназначается для исключения другого символа. При обработке устройством ЧПУ управляющей программы перфоленты символы ПУС и ЗБ считываются, но никаких сигналов на станок не передается, а ввод перфоленты продолжается.

Для обозначения адресов в коде ИСО-7 бит используются заглавные буквы латинского алфавита. В составе кода 26 адресов (вместе с резервными), цифры от 0 до 9, знаки «плюс» и «минус», признак «начало программы», «конец фразы» и другие обозначения.

Информация на перфорированной ленте располагается следующим образом: на ее строках — поперек движения ленты и на дорожках вдоль движения ленты. Каждый символ кода (адрес, цифра, знак или признак) располагается в виде комбинации пробивок на одной строке ленты. Например, адрес Z кодируется пробивками по 2, 4, 5, и 7-й дорожкам, цифра 7 — по 1, 2, 3, 5 и 6-й дорожкам и т. д.

Программу составляют из кадров, каждый из которых содержит не менее двух слов. Слово состоит из адреса, обозначенного буквой, и числа, отображающего либо величину перемещения, либо скорость подачи, либо код какой-то другой функции. Например, X + 032476 означает: перемещение стола станка в положительном направлении оси X на величину 32476 дискрет (импульсов), что при дискретности 0,01 мм означает перемещение на 324,76 мм. Этот способ построения кадра программы называется адресным кадром. Он позволяет не перфорировать на ленте повторяющуюся информацию, допускает произвольную последовательность записи команд, что в отличие от переменного кадра и особенно фиксированного кадра делает его более гибким.

Применяемые методы кодирования и процесс построения кадров, как составных частей управляющих программ, не исключает возможности появления ошибок, поэтому возникла необходимость в применении того или иного способа логического контроля кодированной информации, записываемой на перфоленте. Существующие способы логического контроля основаны на избыточности кодированной информации, автоматически выявляемой при построчном считывании ее. Кроме построчного контроля, в системах цифрового управления применяются и методы покадрового контроля кодированной информации, записываемой на перфоленте.

Одним из наиболее распространенных методов контроля является контроль по модулю. В его основу положено нахождение и запись в кодированном виде на перфоленте контрольного числа. Для нахождения его необходимо в каждом кадре подсчитать сумму всех значений двоичных цифр и разделить ее на определенное число (модуль) больше двух (чаще всего берут 4, 9 или 10). Получившийся остаток и является тем контрольным числом, с которым происходит автоматическое сравнение остатка при считывании информации с перфоленты. Это дает

возможность проверить как правильность перфорирования ленты, так и безошибочность считывания с нее информации при вводе в систему управления.

К числу других методов логического контроля кодированной информации, записываемой в кадрах, относятся: проверка количества строк в кадре программы при вводе информации; проверка числа строк, следующих за адресом; проверка принятой последовательности отдельных видов информации и др.

В основу всех видов логического контроля положено автоматическое выявление системой допущенных отклонений от установленного порядка построения кадра программы.

В кадре программы, кроме команд, может быть записана и другая, не относящаяся непосредственно к ним, информация. Например, обозначение адресов, контрольные числа, знаки разделения команд, дополнительные пробивки и т. д. Эта информация при считывании программы станком не обрабатывается, поэтому называется служебной информацией.

Перфорирование программных лент осуществляется специальными устройствами, называемыми перфораторами. Основные требования к перфораторам сводятся к автоматическому режиму работы по перфорированию, возможности легко получать дубликаты перфолент путем их реперфорирования и контрольных бланков.

2.3. Требование к конструкции и общие принципы подбора деталей для обработки на станках с ЧПУ

Чтобы получить наибольший экономический эффект от применения станков с ЧПУ, необходимо на этапе технологической подготовки производства особое внимание уделить подбору номенклатуры деталей и технологичности их конструкций. Требования технологичности конструкции деталей, обработка которых проектируется на станках с ЧПУ, имеют некоторые специфические особенности. Основными из них следует считать: 1) возможность полной обработки конструкции детали с использованием минимального количества типоразмеров режущего инструмента; 2) назначение единого размера радиусов скругления в целях упрощения траектории движения фрезы при фрезеровании; 3) назначение одинаковых крепежных отверстий в корпусных деталях, в результате чего отпадает необходимость в смене инструмента; 4) упрощение конструкции обрабатываемых деталей с целью сокращения времени на программирование, типизируя повторяющиеся элементы деталей и избегая наклонных стенок, а также разработка конструкций деталей, симметричных по форме и размерам, что позволяет обрабатывать их по одной программе; 5) возможность надежного базирования деталей при обработке, предусматривая в их конструкциях достаточно большие опорные плоскости, пластики, центрирующие гнезда или фаски и другие элементы, используемые в качестве технологических баз; 6) исключение операций сверления и нарезания резьб малых диаметров в крупногабаритных деталях во избежание по-

ломок инструмента и, как следствие, простоя оборудования; 7) замена криволинейных участков ломаными линиями или дугами окружностей, что способствует сокращению времени подготовки программы за счет использования линейных и круговых интерполяторов; 8) обеспечение достаточной жесткости и конструктивного оформления деталей, способствующих надежному и удобному закреплению их на станке.

К заготовкам, проектируемым для обработки на станках с ЧПУ, предъявляют более высокие требования к точности размеров и качеству материала, из которого они изготавливаются. В данном случае нельзя назначать широкие допуски на размеры заготовок, так как это усложняет работу станков за счет введения дополнительных переходов или необходимости предварительной их обработки (черновой) на обычных универсальных станках.

Точность обработки на станках с ЧПУ во многом зависит от количества переустановок и перезакреплений заготовки в процессе ее обработки. Надо стремиться к максимальному сокращению или исключению различных переустановок и перезакреплений.

При подборе деталей для обработки на станках с ЧПУ надо помнить, что главным критерием является эффективность обработки при эффективном использовании самих станков. В качестве показателя эффективности может быть повышение производительности обработки, снижение ее себестоимости, повышение качества изделия и т. д. Обычно используют какой-либо один из этих показателей или их сочетание при условии самого эффективного использования технических и технологических возможностей станка с ЧПУ.

Общие принципы, которыми следует руководствоваться при подборе деталей для обработки на станках с ЧПУ, вытекают из сущности числового управления и связаны между собой причинно-следственной зависимостью. Если возьмем и сравним технологический процесс обработки детали средней сложности на универсальном оборудовании с технологическим процессом ее обработки на станке с ЧПУ, то заметим, что количество операций в первом случае в 6—10 раз больше. А ведь каждая операция техпроцесса — это целый набор определенных действий и мероприятий, включая выбор станков, проектирование оснастки, режущего и измерительного инструмента, транспортировку, раскрепление и вновь закрепление на следующей операции, настройку, регулировку другого станка, приспособления, межоперационное пролеживание и т. д. Все это требует определенных затрат времени, дополнительных производственных площадей и рабочих различных специальностей.

Технологические возможности станков с ЧПУ позволяют сконцентрировать всю обработку детали на одной или нескольких операциях, сократив их до возможного минимума. Таким образом, чем выше концентрация обработки на станке с ЧПУ по сравнению с универсальным оборудованием, тем выше эффективность числового управления. Чем сложнее детали и меньше серия их изготовления, тем выше эффективность применения для их обработки станков с ЧПУ.

Опыт эксплуатации станков с ЧПУ показывает, что при величине партии 10—15 деталей использование станка становится уже эффек-

тивным. Эффективность применения станков с ЧПУ возрастает с увеличением размоточных и пригоночных работ, которые являются сложными, трудоемкими, ручными, а потому и дорогостоящими.

Повышение требований к качеству обработки деталей на универсальном оборудовании ведет к усложнению контроля как за счет роста количества контролеров, так и за счет повышения сложности контрольных приспособлений. Применение станков с ЧПУ практически исключает контроль качества, поэтому и эффективность такой обработки возрастает.

2.4. Особенности проектирования технологического процесса обработки на станках с ЧПУ

Технологический процесс обработки детали на станках с ЧПУ состоит из отдельных операций. Операция содержит одну или несколько установок. Установка содержит один или несколько переходов, а переход — один или несколько проходов.

Однако при выполнении операции на станках с ЧПУ основной структурной единицей следует считать переход [29]. Тогда операция включает в себя совокупность переходов, которые целесообразно разделить на элементарные, инструментальные, позиционные и вспомогательные.

Элементарный переход — обработка одной элементарной поверхности одним инструментом. Неизменность режимов резания не является обязательным признаком перехода. Режимы резания могут автоматически изменяться.

Инструментальный переход — законченный процесс обработки одной или нескольких поверхностей при непрерывном движении одного инструмента по заданной программе. Инструментальный переход включает в себя несколько элементарных переходов.

Вспомогательный переход — часть траектории инструмента, не связанная с образованием поверхности (холостые перемещения).

Позиционный переход — совокупность инструментальных и вспомогательных переходов, соответствующих одному закреплению или одной установке детали, смене инструмента или программноносителя.

Разработка технологического процесса сопровождается составлением технологических документов, маршрутной карты, операционных карт, карт эскизов, схем и др.

Технологический процесс обработки на станках с ЧПУ имеет свои особенности: ограниченное число операций в маршрутной технологии вследствие концентрации обработки; детальную разработку операционной технологии с изготовлением по каждой операции расчетно-технологических карт (РТК) и карт операционных эскизов. Операционная карта для станков с ЧПУ содержит наименование операций, модель станка, тип системы, номер программы, координаты всех опорных точек с указанием по каждому переходу режимов резания, номера корректора и технологических команд. Кроме опорных, в данную карту заносятся контрольные точки, в которых предусматривается кратко-

Рис. 202. Правосторонняя прямоугольная система координат

временная остановка инструмента для проверки отработки программы рабочими органами станка.

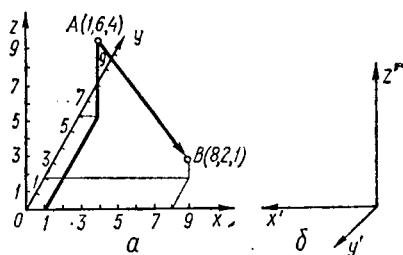
Отличительной особенностью разработки технологического процесса для станков с ЧПУ является высокая степень ее детализации.

Это обусловлено тем, что рабочий, обслуживающий станок с ЧПУ, не может принимать самостоятельного решения о необходимом числе проходов и переходов, назначать режимы резания и вообще корректировать ход обработки в зависимости от реальных условий производства, как это делается при обработке на универсальном оборудовании. Вот эта высокая степень детализации при разработке техпроцессов для станков с ЧПУ и требует обязательной разработки расчетно-технологических карт, карт эскизов и схем. При разработке технологического процесса необходимо выбрать число переходов и проходов, установить их последовательность и определить траекторию движения инструмента в процессе обработки. Без этого невозможно рассчитать координаты опорных точек. Основной задачей при разработке РТК является точная размерная увязка траектории инструмента с системой координат станка, исходной точкой положения инструмента и положением заготовки. От того, насколько правильно и рационально составлена траектория движения инструмента, зависит эффективность применения станков с ЧПУ.

Траектория инструмента, под которой подразумевается путь, пройденный центром инструмента (осью фрезы, центром окружности при вершине реза и др.) при относительном его перемещении, должна быть увязана с системой координат. Для станков с ЧПУ принята правосторонняя прямоугольная система координат (рис. 202, а). Если большой, указательный и средний пальцы правой руки расположить (в плоскости ладони) перпендикулярно друг другу, то большой палец покажет положительное направление оси X , указательный — оси Y , средний — оси Z . В этой системе рассматривают перемещение инструмента относительно детали. Если требуется переместить инструмент из точки $A(1, 6, 4)$ в точку $B(8, 2, 1)$, то перемещение по оси X будет положительной величиной ($X = 7$), а перемещения по осям Y и Z — отрицательными величинами ($Y = -4$; $Z = -3$).

В тех случаях, когда перемещение осуществляется деталью относительно неподвижного инструмента, то знак соответствующей величины нужно поменять на противоположный либо изменить положительное направление осей координат. Тогда оси обозначают X' , Y' , Z' (рис. 202, б).

Расположение системы координат относительно рабочих органов станка зависит от его типа. Принято ось Z располагать вдоль шпинделя станка от детали к инструменту (рис. 203). Ось X располагают: в токарных станках с горизонтальной станиной — горизонтально в на-



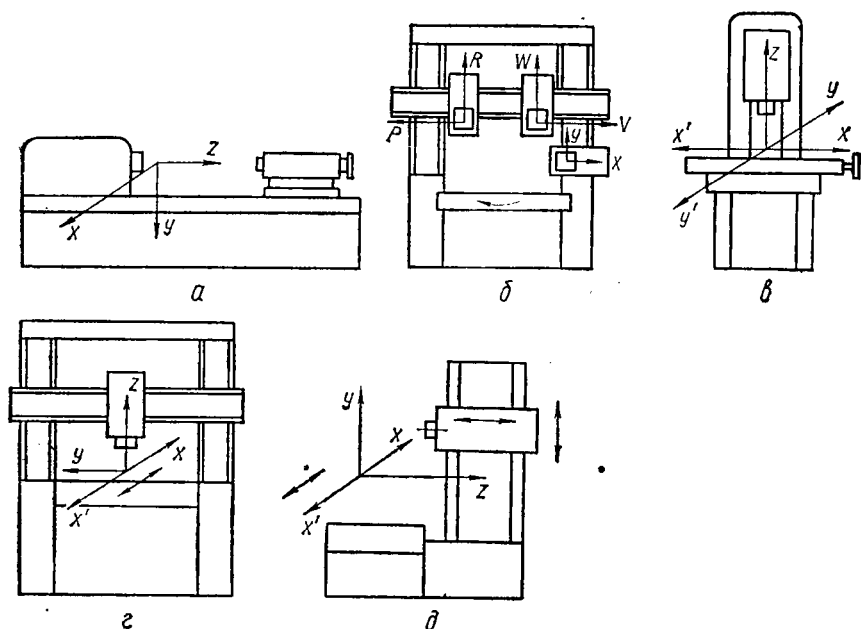


Рис. 203. Расположение системы координат относительно рабочих органов станка

правлении к рабочему (рис. 203, а); в карусельных — горизонтально слева направо (рис. 203, б); в сверлильных, вертикально-фрезерных, координатно-расточных с вертикальным шпинделем и крестовым столом — в направлении продольной подачи слева направо (рис. 203, в); в координатно-расточных с продольным суппортом — в направлении продольной подачи от рабочего (рис. 203, г); в фрезерно-расточном с продольным столом — в направлении продольной подачи справа налево (рис. 203, д).

Если станок имеет несколько рабочих органов (столов, суппортов, бабок и т. д.), то перемещение вдоль осей координат одного органа обозначают X, Y, Z , вдоль этих же осей второго органа — U, V, W , третьего органа — P, Q, R (рис. 203, б).

В зависимости от конструкции детали перемещение инструмента в процессе ее обработки может осуществляться по двум, трем и более программируемым координатам. В плоскости обработки деталь образует плоский контур, ограниченный в большинстве случаев отрезками прямой и дугами окружностей. Каждая линия ограничивает какой-либо элементарный участок контура. Граничные точки смежных элементарных участков называют опорными или узловыми. Зная координаты опорных точек, можно запрограммировать траекторию инструмента и записать информацию на программноносителе.

2.5. Проектирование операций обработки на станках с ЧПУ

Исходные данные и последовательность проектирования операций обработки на станках с ЧПУ мало чем отличаются от аналогичной работы для станков. Однако глубина проработки всех вопросов, связанных с выбором станка, назначением режимов резания и особенно детализация операций имеют свои особенности.

Во многих случаях обработке на станках с ЧПУ предшествуют операции подготовки установочных баз, а после этапа обработки выполняют операции второстепенного значения и вспомогательного характера.

Хорошо изучив технологические возможности станков с ЧПУ, проектирование операций начинают с установления необходимых переходов и количества рабочих проходов (ходов), обеспечивающих удаление напусков и преувеличенных припусков.

Для случая фрезерной обработки выступов, впадин, колодцев рекомендуется применять следующие виды траектории движения инструмента: спираль Архимеда с проходами, эквидистантными контуру обрабатываемой плоскости (рис. 204, а). При этом движение можно задавать от периферии к центру и от центра к периферии; ленточную спираль с проходами, эквидистантными контуру обрабатываемой плоскости (рис. 204, б); спираль типа «строка» (рис. 204, в). Диаметр пальцевой фрезы в этих случаях надо брать возможно большим, что позволит увеличить минутную подачу и уменьшить длину траектории за счет более тесного расположения витков спирали и большего шага «строчек».

Если нужно обработать определенное число отверстий одного диаметра, то системе достаточно задать исходное положение инструмента и определить путь обхода опорных точек, исходя из требования минимальной затраты суммарного времени на перемещение шпинделя из позиции в позицию (рис. 205).

Следующим этапом проектирования операции является определение координат опорных точек эквидистанты и траектории движения режущего инструмента при чистовой обработке основных поверхностей детали. При определении опорных точек следует иметь в виду, что:

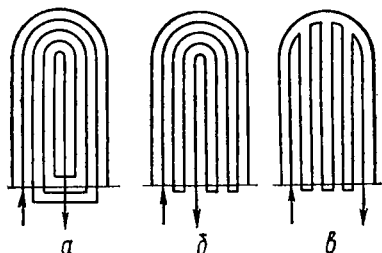


Рис. 204. Траектория фрезы при обработке колодцев:

а — типа спирали Архимеда; б — ленточная спираль; в — типа «строка»

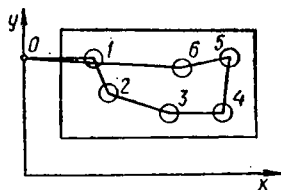


Рис. 205. Траектория инструмента при позиционной обработке

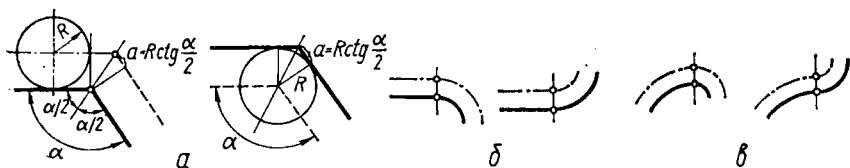


Рис. 206. Определение опорных точек эквидистанты

если два смежных участка контура детали ограничены отрезками прямых, то опорную точку эквидистанты располагают на биссектрисе угла между прямыми в месте пересечения эквидистанты с биссектрисой (рис. 206, а); если два смежных участка контура ограничены прямой и дугой окружности, то опорную точку эквидистанты располагают на нормали к прямой. Нормаль проводят через опорную точку контура (рис. 206, б); если два смежных участка контура ограничены дугами окружности, то опорную точку эквидистанты располагают на нормали к совместной касательной (рис. 206, в).

Форма представления координат опорных точек должна соответствовать системе отсчета станка. Имеются станки с абсолютной системой отсчета, к которым относят, например, позиционные кодовые системы (рис. 207, а), и с относительной системой отсчета, к которым относят позиционные счетно-импульсные системы, контурные системы с шаговым двигателем и др. (рис. 207, б).

Для станков с абсолютной системой отсчета требуется абсолютное значение координат — значение каждой координаты относительно начала координат. Для станков с относительной системой отсчета требуется относительное значение координат — приращение каждой координаты по сравнению с предыдущим значением. Координаты опорных точек сравнительно легко рассчитываются или берутся непосредственно из чертежа детали.

Информация о координатах опорных точек с перфоленты поступает на вход интерполятора — специального устройства для управления станком с контурной системой управления. На выходе интерполятора по каждой координате формируется последовательность импульсов, необходимая для обработки участка траектории между опорными точками. Различают линейные интерполяторы, позволяющие

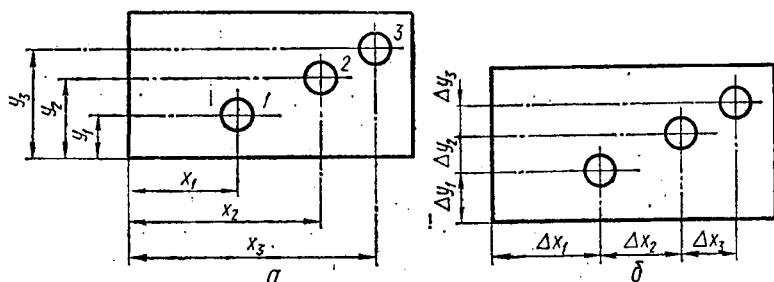


Рис. 207. Системы отсчета координат опорных точек:

а — абсолютная; б — относительная

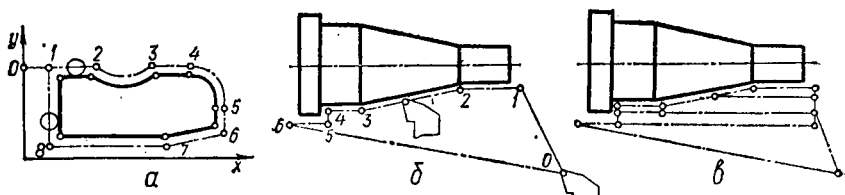


Рис. 208. Траектория инструмента:

а — при фрезерной обработке; б — при токарной обработке (чистовой); в — при токарной обработке (черновой и чистовой)

отработать перемещение между двумя опорными точками только по прямой, соединяющей эти точки, и линейно-круговые, позволяющие отработать перемещение между двумя опорными точками как по прямой линии, так и по дуге окружности. Если при наличии линейного интерполятора нужно отработать траекторию по дуге окружности, то последнюю можно аппроксимировать ломаной линией.

Траектория рабочих перемещений инструмента при чистовой обработке представляет собой эквидистанту образующих поверхностей детали. Эквидистанта может быть наружной, если обрабатывается наружный контур, и внутренней — при обработке внутреннего контура. Эквидистанту также можно разделить на отдельные элементарные участки. На рис. 208, а сплошной линией обозначен контур детали, штрих-пунктирной — эквидистанта, имеющая восемь элементарных участков. Точка O — исходное положение инструмента, а участок $O-1$ — холостой ход.

Применительно к токарной обработке эквидистантой является след движения центра закругления режущей кромки при вершине резца. При чистовой обработке траектория инструмента совпадает с эквидистантой к контуру детали и отстоит от контура на величину радиуса при вершине резца (рис. 208, б). При черновой обработке (рис. 208, в) траектория является более сложной, появляются черновые проходы, после которых программируется чистовой проход.

Для решения задачи сокращения времени предварительной обработки на 20—30% следует использовать станки с самопрограммированием черновой обработки. Такие станки разработаны ЭНИИМС и фирмами «Асема» (ГДР), «Сименс» (ФРГ), «Фанук» (Япония) и др.

Так как без вспомогательных движений (врезание, перебег и отвод от обработанной поверхности) и холостых ходов (подвод инструмента, отвод его в исходное положение и др.) нельзя обойтись, то при формировании вспомогательных участков траектории надо стремиться к уменьшению их пути и увеличению скорости на них. Траектории по возможности должны быть простыми, а количество участков с разгоном и торможением минимальным. Если по ходу выполнения вспомогательных или холостых движений приходится менять их скорость, то в этом случае появляются дополнительные опорные точки на одной и той же прямой.

Следующий этап проектирования заключается в установлении режима резания (глубина, подача и скорость резания). Опыт подготовки

управляющих программ для станков с ЧПУ показывает, что почти 50% всех ошибок при обработке составляют ошибки, связанные с неправильным назначением режимов резания.

Правильный выбор режима резания положительно сказывается на точности и качестве обработанной поверхности при одновременном снижении себестоимости и повышении производительности обработки.

Глубина, подача и скорость резания по разному влияют на стойкость инструмента: наиболее значительно влияет скорость резания, меньше — подача и весьма слабо — глубина резания. Исходя из этого, режимы резания устанавливают в следующей последовательности: максимально возможная глубина резания; максимально возможная подача, влияющая на шероховатость поверхности и точность обработки; скорость резания, обеспечивающая оптимальную стойкость инструмента. Их значения в каждом конкретном случае выбирают по нормативам из справочников или рассчитывают по известным из курса резания металлов формулам.

При выборе режимов резания для станков с ЧПУ необходимо учитывать следующие особенности числового управления: значительное удлинение циклов обработки за счет концентрации операций; автоматическую смену инструмента, позволяющую использование в течение цикла несколько инструментов; возможность корректировки размерного износа инструментов; необходимость известного усреднения режимов резания, так как за один переход обрабатываются различные поверхности; возможность снижения оптимальной стойкости инструмента и интенсификации режимов резания.

Коррекция размерного износа инструмента необходима в случаях обработки поверхностей с большой длиной. Осуществляется она специальным устройством станка с ЧПУ, для чего в программу закладывается коррекция траектории, компенсирующая износ инструмента.

Усреднение режимов резания необходимо потому, что различные участки детали, обрабатываемые за один проход, имеют разные величины припусков, различные требования к точности и шероховатости поверхностей, а поэтому и разные максимально допустимые значения силы резания и других режимов. Правильно было бы для каждого участка устанавливать свои режимы резания. Однако в большинстве случаев скорость резания устанавливается заранее и не может быть изменена по программе.

В этих условиях выбирают основной участок обработки (с повышенными требованиями к точности и качеству, наибольший по размеру и т. д.), для которого и определяют оптимальные режимы резания. Для остальных участков эти режимы не являются оптимальными, но величина подачи должна быть так скорректирована, чтобы это отклонение было минимальным.

Автоматическая смена инструмента на станках с ЧПУ без перерыва рабочего цикла, а также повышенное его качество за счет применения специальных материалов и конструкций создают предпосылки некоторого снижения экономической стойкости и повышения в связи с этим режимов резания.

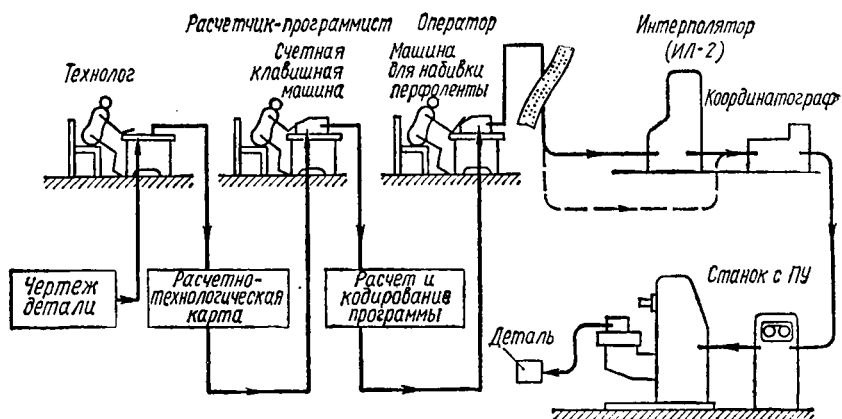


Рис. 209. Порядок ручного проектирования операций обработки на станках с ПУ

По установленным режимам резания определяют основное время выполнения технологических переходов обработки. Составляется операционная карта, в графы которой заносятся полученные результаты по проектированию операций обработки на станке с ЧПУ. Операционные карты являются первичным документом, на основе которых определяют необходимые материалы, оснастку, рабочую силу и ряд других задач и вопросов организационного характера. Таким образом, имея необходимую документацию в виде маршрутной и операционных карт, карт эскизов и схем, а также расчетно-технологических карт, можно приступить к составлению управляющей программы обработки на станке с ЧПУ. Вся информация, полученная из этих документов, кодируется, из полученных кодов формируются отдельные кадры управляющей программы. Контролируют управляющие программы, записанные на перфоленте, при помощи графического устройства—координатографа. Управляющую программу проверяют на станке без установки инструмента. Проверка опорных точек траектории и возвращение рабочих органов станка в исходное положение осуществляются по лимбам станка. Окончательная проверка программы происходит после обработки и тщательного измерения поверхностей первой пробной детали.

Такой порядок проектирования операций обработки с составлением управляющих программ называется ручным (рис. 209). Его недостатки заключаются в относительной длительности, трудоемкости и вероятности возникновения ошибок при обработке сложных деталей. В связи с этим, в настоящее время разработаны и успешно применяются различные системы автоматизации подготовки управляющих программ с применением ЭВМ, которые в десятки раз сокращают время подготовки программ и вероятность возникновения ошибок, повышают их качество за счет оптимизации технологических решений. Среди этих систем заслуживают внимания отечественные: САП, САПС, СПТС, СПС-Т — для токарных станков, СПС-Ф — для фрезерных станков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированные системы технологической подготовки производства / Под ред. Горанского Г. К.— М. : Машиностроение, 1976.— 235 с.
2. Бабичев А. П. Вибрационная обработка деталей.— М. : Машиностроение, 1974.— 130 с.
3. Балакишин Б. С. Основы технологии машиностроения.— М. : Машиностроение, 1969.— 549 с.
4. Горошкин А. К. Приспособления для металлорежущих станков.— М. : Машиностроение, 1979.— 301 с.
5. Данилевский В. В. Технология машиностроения.— М. : Высшая школа, 1972.— 130 с.
6. Демьянюк Ф. С. Технологические основы поточно-автоматизированного производства.— М. : Машгиз, 1968.— 700 с.
7. Допуски и посадки /Под ред. Мягкова В. Д.— Л. : Машиностроение, 1979.— 1026 с.
8. Егоров М. Е., Дементьев В. И., Дмитриев В. Л. Технология машиностроения.— М. : Высшая школа, 1976.— 526 с.
9. Елизаветин М. А. Повышение надежности машин.— М. : Машиностроение, 1973.— 430 с.
10. Картавов С. А. Технология машиностроения.— Киев: Вища школа, 1974.— 266 с.
11. Колев К. С. Технология машиностроения.— М. : Высшая школа, 1977.— 256 с.
12. Корсаков В. С. Автоматизация производственных процессов.— М. : Высшая школа, 1978.— 291 с.
13. Корсаков В. С. Основы конструирования приспособлений в машиностроении.— М. : Машиностроение, 1971.— 284 с.
14. Корсаков В. С., Гафуров Б. Х., Дмитриенко В. А. Применение роботов для автоматизации сборочных процессов.—Оборудование с ЧПУ.— М. : ЦНИИМаш, 1975, № 5, с. 32—38.
15. Кузнецов М. М., Волчиевич Л. И., Замчалов Ю. П. Автоматизация производственных процессов.— М. : Высшая школа, 1978.— 425 с.
16. Лавриненко М. З., Киричук И. З. Пути централизации изготовления и восстановления буровых штанг.— М. : Недра, № 6, 1965, с. 59—62.
17. Лавриненко М. З., Гончаренко А. А., Холоша В. И. Влияние некоторых технологических факторов на стойкость буровых штанг при централизованном их изготовлении.— М. : Недра, № 12, 1965, с. 72—75.
18. Левитский П. А., Мосны В. Н., Яковлев А. И. Экономика машиностроительной промышленности.— М. : Машиностроение, 1980.— 270 с.
19. Маталин А. А. Технология механической обработки.— Л. : Машиностроение, 1977.— 459 с.
20. Мельников Н. Ф., Бристолю Б. Н., Дементьев В. И. Технология машиностроения. — М. : Машиностроение, 1977.— 323 с.
21. Митрофанов С. П. Научные основы организации группового производства.— М.—Л. : Машгиз, 1963.— 308 с.
22. Молчанов Г. Н. Повышение эффективности обработки на станках с ЧПУ.— М. : Машиностроение, 1979.— 202 с.
23. Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—85 гг. и до 1990 г. Материалы XXVI съезда КПСС.— М. : Политиздат, 1981.
24. Основы технологии машиностроения / Под ред. Корсакова В. С.— М. : Машиностроение, 1977.— 412 с.
25. Применение ультразвука в промышленности / Под ред. Маркова А. И.— М. : Машиностроение, 1975.— 322 с.
26. Ратмиров В. А. Основы программного управления станками.— М. : Машиностроение, 1978.— 234 с.
27. Решетов Д. Н. Работоспособность и надежность деталей машин.— М. : Высшая школа. 1974.— 205 с.
28. Справочник технолога-машиностроителя /Под ред. Косиловой А. Г., Мещерякова Р. К.— М. : Машиностроение, 1972.— 691 с.
29. Судоплатов И. П. Обработка деталей на станках с ЧПУ.— М. : Машиностроение, 1976.— 102 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5

Раздел первый ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Глава 1. Изделие и технологический процесс в машиностроении	9
1.1. Изделие и его элементы	9
1.2. Виды изделий машиностроительных предприятий	11
1.3. Основное понятие о производственном и технологическом процессах в машиностроении	13
1.4. Классификация работ в машиностроительном производстве и технически обоснованная норма времени	15
1.5. Типы машиностроительных производств и методы работы	20

Раздел второй ТОЧНОСТЬ И КАЧЕСТВО В МАШИНОСТРОЕНИИ

Глава 1. Производственные погрешности и методы обеспечения заданной точности	23
1.1. Понятие, характеристика и значение точности обработки в машиностроении	23
1.2. Погрешности изготовления деталей и методы обеспечения заданной точности	25
1.3. Технологические факторы, вызывающие погрешности механической обработки в обычном и автоматизированном производстве	27
1.4. Анализ точности обработки автоматизированных производств и основные мероприятия, способствующие ее повышению	35
1.5. Статистические методы исследования точности обработки деталей	38
1.6. Основные сведения о допусках и технологическое решение размерных цепей	42
Глава 2. Установка и базирование заготовок деталей для обработки на станках, сборки и контроля изделий	45
2.1. Поверхности и базы обрабатываемых на станках заготовок деталей	45
2.2. Базирование и закрепление заготовок	49
2.3. Принципы постоянства и совмещения баз, последовательность выполнения операций	50
2.4. Способы установки деталей при механической обработке их на металлорежущих станках	53
2.5. Схемы базирования деталей. Правило шести точек	55
Глава 3. Качество поверхностей заготовок и деталей машин	57
3.1. Шероховатость, волнистость и состояние поверхностного слоя, как элементы характеристики качества поверхности деталей машин	57
3.2. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин	61
3.3. Контроль качества поверхности обработанных деталей машин	63
3.4. Влияние технологических факторов на качество поверхности	65

3.5. Обеспечение стабильности качества обработанной поверхности в условиях автоматизированного производства	67
3.6. Рекомендации по назначению шероховатости и точности некоторых поверхностей деталей машин	70
3.7. Методы формирования поверхностного слоя деталей машин с заданными эксплуатационными свойствами	71

Раздел третий

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Глава 1. Характеристика технологических методов производства деталей машин	74
1.1. Определение нормы расхода материала на единицу продукции и основные предпосылки для назначения вида заготовки	74
1.2. Получение заготовок из проката	75
1.3. Получение заготовок методомковки и штамповки	79
1.4. Получение заготовок методом литья и комбинированным методом	81
1.5. Получение заготовок из металлокерамики, пластических масс и других неметаллических материалов	83
1.6. Электроискровой метод обработки деталей машин	85
1.7. Ультразвуковой метод обработки деталей машин	87
1.8. Вибрационная обработка деталей	88
1.9. Автоматизация вибрационной обработки	91
1.10. Обработка материалов лазерным излучением (лазерная технология)	94
Глава 2. Технологичность конструкции машин	96
2.1. Понятие о технологичности. Показатели и факторы, определяющие технологичность конструкции машин	96
2.2. Количественный метод оценки технологичности конструкции машин	99
Глава 3. Проектирование технологических процессов обработки деталей машин	100
3.1. Технично-экономические принципы проектирования и основные случаи технологических разработок	100
3.2. Методика и последовательность проектирования технологических процессов механической обработки	101
3.3. Порядок составления маршрутной карты обработки детали	102
3.4. Порядок проектирования операционной технологии	103
3.5. Концентрация и дифференциация операций технологических процессов	104
3.6. Типизация технологических процессов	105
3.7. Разработка групповых технологических процессов	106
3.8. Виды технологических документов	107
3.9. Определение и расчет припусков на обработку	109
3.10. Методы определения припусков	111
Глава 4. Виды станочных приспособлений	114
4.1. Назначение, классификация и основные требования, предъявляемые к приспособлениям	114
4.2. Типовые схемы установки заготовок в приспособлениях и особенности конструкции установочных элементов	117
4.3. Установка заготовки непосредственно на плоскость или на три опоры	121
4.4. Установка заготовок по цилиндрической поверхности и перпендикулярной к ее оси плоскости	123
4.5. Установка заготовок по двум цилиндрическим поверхностям	125
4.6. Установка заготовок по обработанным цилиндрическим отверстиям	126
4.7. Установка заготовок по центровым отверстиям	128
4.8. Зажимные механизмы приспособлений	131
4.9. Установочно-зажимные механизмы приспособлений	141
4.10. Силловые приводы в приспособлениях	145
4.11. Направляющие элементы приспособлений	150
4.12. Вспомогательные элементы приспособлений. Корпусы приспособлений	
4.13. Приспособления для крепления и фиксации режущего инструмента на станках. Сборочные приспособления	156

4.14. Контрольные приспособления	159
4.15. Нормализация и стандартизация приспособлений и их элементов	162
4.16. Характеристика систем универсально-наладочных и универсально-сборочных приспособлений	163
4.17. Особенности требований и конструкции приспособлений переменного-поточных, групповых обработок и автоматизированного производства	167
4.18. Контроль приспособлений	171
4.19. Методика конструирования специальных приспособлений	173

Раздел четвертый

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ И СБОРКИ МАШИН

Глава 1. Обработка наружных поверхностей тел вращения	176
1.1. Классификация деталей — тел вращения и виды их обработки	176
1.2. Технологичность конструкции и технические условия на обработку валов	177
1.3. Выбор заготовок, баз и оборудования для обработки валов	179
1.4. Обработка деталей—тел вращения на токарных многолезцовых станках	180
1.5. Обработка поверхностей деталей — тел вращения на многошпиндельных полуавтоматах и автоматах	183
1.6. Обработка наружных поверхностей деталей — тел вращения с применением гидрокопировальных устройств	183
1.7. Технология производства тяжелых валов	186
1.8. Получение конических и фасонных поверхностей деталей — тел вращения на токарных станках	187
Глава 2. Виды чистовой отделочной обработки наружных цилиндрических поверхностей (валов) и других тел вращения	189
2.1. Тонкое (алмазное) точение	189
2.2. Шлифование наружных поверхностей деталей—тел вращения	190
2.3. Бесцентровое шлифование	192
2.4. Хонингование или механическая доводка абразивными брусками	195
2.5. Суперфиниш или механическая доводка абразивными колеблющимися брусками	196
2.6. Притирка (доводка, лапнинг-процесс)	197
2.7. Полирование, электрополирование и виброполирование	199
2.8. Отделочная обработка давлением	202
2.9. Жидкостно-абразивная и дробеструйная обработка деталей	202
Глава 3. Обработка внутренних цилиндрических и других поверхностей (отверстий)	203
3.1. Основные требования к отверстиям и особенности процесса их обработки	203
3.2. Сверление и зенкерование отверстий	204
3.3. Растачивание и развертывание отверстий	206
3.4. Протягивание и прошивание отверстий	207
3.5. Особенности протягивания глубоких отверстий	208
3.6. Шлифование отверстий	210
3.7. Хонингование внутренних поверхностей (отверстий)	212
3.8. Обработка отверстий без снятия стружки	214
Глава 4. Обработка плоскостей	215
4.1. Предпосылки выбора метода обработки плоскостей	215
4.2. Обработка плоскостей строганием и долблением	215
4.3. Обработка плоскостей фрезерованием и протягиванием	216
4.4. Обработка плоскостей шлифованием и шабрением	219
Глава 5. Обработка резьбовых поверхностей	220
5.1. Виды резьб и методы их получения	220
5.2. Нарезание резьбы на токарных станках	222
5.3. Нарезание резьбы вращающимися резцами (вихревое нарезание)	225
5.4. Нарезание резьбы плашками и резьбонарезными головками	226

5.5. Нарезание резьбы метчиками	227
5.6. Фрезерование резьбы	229
5.7. Шлифование резьбы	230
5.8. Накатывание резьбы	232
Глава 6. Обработка пазов и шлицевых поверхностей	233
6.1. Виды пазов и методы их обработки	233
6.2. Обработка шлицевых соединений	236
Глава 7. Обработка зубчатых колес и корпусных деталей	240
7.1. Характеристика степеней точности и методов нарезания зубчатых колес	240
7.2. Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес модульными фрезами	243
7.3. Нарезание зубьев на зубодолбежных станках	244
7.4. Нарезание зубьев червячными фрезами	247
7.5. Способы повышения производительности зубофрезерования	250
7.6. Нарезание зубьев гребенками	253
7.7. Нарезание зубьев червячных колес	254
7.8. Нарезание зубьев конических прямозубных колес	258
7.9. Нарезание конических колес с криволинейными зубьями	261
7.10. Накатывание зубьев	263
7.11. Окончательная чистовая отделка зубьев	264
7.12. Обработка корпусных деталей	271
Глава 8. Основные понятия о сборке	274
8.1. Значение и объем сборочных работ в машиностроении	274
8.2. Исходные данные для проектирования технологического процесса сборки	275
8.3. Основные виды соединений, их классификация и методы выполнения при сборке узлов и машин	275
8.4. Организационные формы сборки в машиностроении	277
8.5. Методы сборки в машиностроении	278

Раздел пятый

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Глава 1. Системы автоматизации и особенности технологии автоматизированных производств	280
1.1. Основные понятия об автоматизации направления ее развития	280
1.2. Системы автоматизации и их технологические характеристики	282
1.3. Особенности проектирования технологических процессов для автоматизированных производств	284
1.4. Специфика проектирования технологии механической обработки на автоматических линиях	286
1.5. Специфика проектирования технологии автоматической сборки	288
1.6. Автоматизация выполнения технологических операций с использованием роботов	290
1.7. Основные направления развития автоматизации в машиностроении	294
Глава 2. Технология обработки деталей на станках с программным управлением	297
2.1. Основные понятия числового управления и технологические преимущества с программным управлением	297
2.2. Программирование обработки для станков с числовым программным управлением	299
2.3. Требования к конструкции и общие принципы подбора деталей для обработки на станках с ЧПУ	306
2.4. Особенности проектирования технологического процесса обработки на станках с ЧПУ	308
2.5. Проектирование операций обработки на станках с ЧПУ	311
Список литературы	316