

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ (ПРОИЗВОДСТВО МАШИН)

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
для студентов специальности 36 01 01
«Технология машиностроения»

В трех частях

Часть 1

Составители
А.А. Лысов, А.С. Аршиков

Новополоцк 2007

УДК 621:658.512(075.8)

ББК 34.5я73

Т 38

Рекомендован к изданию методической комиссией
машиностроительного факультета

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

М.В. Подосетников, зам. гл. инженера ОАО «Проммашремонт»;

А.Л. Лисовский, канд. техн. наук, доцент

Технология машиностроения (производство машин) : учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-36 01 01 «Технология машиностроения». В 3 ч. Ч. 1 / сост. А.А. Лысов, А.С. Аршиков. – Новополюк : ПГУ, 2007. – 252 с.
ISBN 978-985-418-582-8 (Ч. 1).
ISBN 978-985-418-581-1.

Содержит методическое обеспечение и лекционный курс. Приведены основные сведения о методах обработки деталей машин, общие принципы построения и проектирования технологических процессов механической обработки. Описаны основные типы и характеристики оборудования и технологической оснастки.

Предназначен для преподавателей и студентов машиностроительных специальностей вузов, учащихся средних специальных учебных заведений, инженерно-технических работников предприятий машиностроительного профиля.

УДК 621:658.512(075.8)

ББК 34.5я73

ISBN 978-985-418-582-8 (Ч. 1)

ISBN 978-985-418-581-1

© Лысов А.А., Аршиков А.С., составление, 2007

© Оформление. УО «ПГУ», 2007

ВВЕДЕНИЕ

По масштабам производства и численности персонала машиностроение – самая крупная отрасль промышленности; в ней занято около одной трети всех работающих, а номенклатура выпускаемых изделий составляет десятки тысяч наименований.

По масштабам выпуска продукции различают три вида машиностроительного производства: массовое, серийное, единичное. К массовому производству относится выпуск таких широко используемых машин и изделий, как автомобили, тракторы, комбайны, электродвигатели, холодильники, часы, стиральные машины, подшипники и т.д. Серийно выпускаются компрессоры, насосы, редукторы, металлорежущие станки, прессы, летательные аппараты и др. Единичным (индивидуальным), как правило, является производство особо крупных и уникальных машин и оборудования, таких, как прокатные станы, тепловые и гидравлические турбины, мощные прессы, станки специального назначения, крупные морские суда, атомные ледоколы, космические станции и др.

Научно-технический прогресс в машиностроении определяет состояние производственной базы всех отраслей народного хозяйства, а степень развития самого машиностроения служит показателем технической зрелости современного индустриального производства. Переход к интенсивному развитию экономики, технологический переворот во многих сферах производства немислимы без совершенствования машин, оборудования, приборов, средств механизации и автоматизации, являющихся базой для гуманизации производственных отношений, изменения характера и организации труда.

Основная задача современного машиностроения – переход на производство новых поколений машин и оборудования, способных обеспечить внедрение прогрессивных технологий, и в первую очередь, энерго- и ресурсосберегающих, открыть путь к автоматизации всех стадий производства – от разработки образцов до массового выпуска готовой продукции, повысить производительность труда, снизить металлоемкость изделий. Первостепенное внимание должно быть уделено выпуску современных станков, кузнечно-прессового, литейного, сварочного и другого прогрессивного оборудования, изготовлению в каждой отрасли машиностроения специального технологического оборудования для собственных нужд.

РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА УСПЕВАЕМОСТИ

Суммарный рейтинг каждого студента по дисциплине «Технология машиностроения (Производство машин)» определяется суммой баллов, заработанных студентом в течение семестра. Он складывается из следующих показателей:

1. Оценка посещаемости аудиторных занятий и выполнения студентом графика учебного процесса. Общее количество баллов – 100, из них:

25 – за 100 %-ное посещение лекций в течение семестра;

25 – за 100 %-ное посещение лабораторных и практических занятий в течение семестра;

50 – за сдачу отчетов и расчетных заданий, защиту лабораторных работ в соответствии с графиком учебного процесса.

2. Текущий контроль успешности усвоения теоретического материала лекционного курса. В соответствии с графиком проведения аттестации выполняются две контрольные работы по теоретическим разделам дисциплины «Технология машиностроения» (часть 1).

Результаты каждой контрольной работы оцениваются следующим образом:

- оценка «отлично» – 100 баллов;
- оценка «хорошо» – 80 баллов;
- оценка «удовлетворительно» – 60 баллов.

Подготовка тематических рефератов в соответствии с предложенным перечнем оценивается по 100 баллов за каждый реферат.

3. Оценка активности студента в научном, творческом освоении специальности:

• участие в университетских, факультетских и международных конференциях (сообщения и доклады) – 100 баллов;

• публикации результатов исследований, подача заявки на получение патента – 150 баллов;

• подготовка работы для участия в республиканском конкурсе научных работ студентов – 250 баллов.

Максимальная сумма баллов по этому разделу – 500.

Минимальное общее количество баллов, необходимое для допуска к экзамену – 250 баллов. При сумме баллов более 750 студент получает экзаменационную оценку автоматически.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. МАШИНОСТРОЕНИЕ КАК ВЕДУЩАЯ ОТРАСЛЬ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Для изготовления любой машиностроительной детали необходимо разработать технологию (рис. 1.1), т. е. решить сложную многовариантную задачу – учесть исходные данные и условия, оценить возможные технико-экономические и социальные параметры возможных решений. Объем производства, традиции, уровень подготовки и квалификации кадров, состояние оборудования – все влияет на рациональность принимаемого решения.



Рис. 1.1. Представление о сущности и разработке технологических процессов металлообработки в машиностроении

В одном случае выгодной оказывается слесарная обработка заготовок, в другом – изделие целесообразно делать точением на токарном автомате, в третьем – необходимо получение точной заготовки (например, штамповкой) с последующей небольшой обработкой абразивным инструментом.

Любая технологическая машина состоит из одних и тех же элементов, т. е. имеется общность структур токарного или шлифовального станка, прессы и автомобиля, швейной машины и промышленного робота. Различия лишь в движениях заготовки и инструмента, величине и характере приложения технологического усилия. Однако применение разных машин и технологий приводит к неодинаковым результатам. Разница особенно заметна в заготовительном производстве, а от качества, прогрессивности заготовки существенно зависят все последующие этапы обработки и даже сборка машин.

Любое производство начинается с его технологической подготовки: обоснованного выбора заготовки, оборудования, переходов и операций, инструментов, приспособлений, режимов обработки. Выбор должен быть увязан с государственными стандартами, стандартами предприятия, инструкциями, местными условиями. Более того, этот выбор должен быть нацелен на улучшение технико-экономических и социальных показателей производства. Когда сроки технологической подготовки производства повсеместно сокращаются, рабочий стол технолога становится, к сожалению, плотиной в потоке технической информации, циркулирующей на предприятии. Медленно, а главное, не оптимально работает технолог, низка результативность его умственного труда.

Увеличением количества технологов можно добиться некоторого ускорения подготовки производства, но вряд ли можно ожидать улучшения технико-экономических показателей разрабатываемых технологических процессов. Выход, следовательно, надо искать в другом направлении – технолог должен быть вооружен ЭВМ, которая в памяти будет хранить банки данных, выполнять расчеты, готовить технологическую документацию.

В машиностроении созданы и создаются АСТПП – автоматизированные системы технологической подготовки производства, которые входят в системы автоматизированного проектирования (САПР). В САПР входит и такое понятие, как АРМ – автоматизированное рабочее место. Это означает, что рабочее место инженера-технолога обязательно оборудуется либо персональной ЭВМ, либо терминалом, имеющим связь с мощ-

ной ЭВМ, к которой могут быть подключены десятки инженеров-технологов высокой квалификации. Можно определить рабочее место современного конструктора-проектанта как АРМК – автоматизированное рабочее место конструктора, включающее ЭВМ, принтер, графопостроитель, способный вычертить чертежи в несколько цветов в неограниченном количестве экземпляров. В таких условиях, конечно, резко возрастают требования к квалификации, творческим способностям конструктора, технолога – все простые операции снимают с них ЭВМ, остаются самые сложные, истинно инженерные задачи и проблемы, с которыми ЭВМ справиться не могут без активного участия человека.

Следует еще раз подчеркнуть, что применение ЭВМ в САПР не только ускоряет технологическую подготовку производства, но и принципиально повышает качество этой подготовки, уже на стадии конструкторско-технологической проработки обеспечивая экономию трудовых и материальных ресурсов, эффективность производства.

Важной задачей остается освобождение человека от необходимости управлять станком, технологическим процессом. С появлением современных микропроцессоров и микроЭВМ оказалось возможным встраивание их в станки и другое технологическое оборудование.

Современная система ЧПУ станков – классическая схема управления технологическими машинами: она содержит источники информации об объекте управления и внешней среде, исполнительные устройства (двигатели, контакторы, муфты и др.), вычислительно-управляющее устройство. Контролируют заданные размеры обрабатываемых деталей либо измерением текущих координат рабочих органов станка и сравнением их со значениями «запрограммированных» текущих координат (косвенный контроль), либо с помощью устройств, определяющих размеры деталей непосредственно в процессе обработки (активный контроль).

Станки с микроЭВМ могут не только запоминать и выполнять определенную последовательность операций, задавать режимы обработки, менять инструмент, но и адаптироваться в изменяющихся условиях. Например, несколько изменилась твердость заготовки, затупился резец – в этих условиях ЭВМ перезадаст режимы обработки, т. е. выполняет необходимые технологические расчеты, выбирает оптимальные параметры, подает нужные команды на исполнительные органы. Таким образом, можно уже говорить об автоматизированной системе управления технологическим процессом (АСУТП).

Итак, основными направлениями совершенствования машиностроительного производства являются:

– *усовершенствование и создание принципиально новых технологических процессов обработки конструкционных материалов (в первую очередь металлообработки), обеспечивающих повышение производительности труда, уменьшение всех видов затрат и ресурсов, открывающих путь к высокому уровню автоматизации;*

– *повышение уровня автоматизации и механизации всех производственных процессов, что позволит в перспективе создать мало- и безлюдное материальное производство;*

– *компьютеризация технологической подготовки производства, управления технологическими процессами и машинами;*

– *повышение гибкости производства как способности быстро и с минимальными затратами перестраиваться на выпуск новой продукции;*

– *гуманизация производства путем учета человеческого фактора, эстетизации производственной среды и создания комфортных условий труда.*

1.1. Производственный состав машиностроительного предприятия

Машиностроительные заводы состоят из отдельных производственных единиц, называемых производствами, цехами и службами.

Состав цехов, и сооружений завода определяется объемом выпуска продукции, характером технологических процессов, требованиями к качеству изделий и другими производственными факторами, а также в значительной мере степенью специализации производства и кооперирования завода с другими предприятиями и смежными производствами.

Специализация предполагает сосредоточение большого объема выпуска строго определенных видов продукции на каждом предприятии.

Кооперирование предусматривает обеспечение заготовками (отливками, поковками, штамповками), комплектующими агрегатами, различными приборами и устройствами, изготавливаемыми на других специализированных предприятиях.

Если проектируемый завод будет получать отливки в порядке кооперирования, то в его составе не будет литейных цехов. Например, некоторые станкостроительные заводы получают отливки со специализированно-

го литейного завода, снабжающего потребителей литьем в централизованном порядке.

Состав энергетических и санитарно-технических служб завода также может быть различным в зависимости от возможности кооперирования с другими промышленными и коммунальными предприятиями по снабжению электроэнергией, газом, паром, сжатым воздухом, в части устройства транспорта, водопровода, канализации и т. д.

Дальнейшее развитие специализации и в связи с этим широкое кооперирование предприятий значительно отразится на производственной структуре заводов. Во многих случаях в составе машиностроительных заводов не предусматриваются литейные и кузнечно-штамповочные цехи, цехи по изготовлению крепежных деталей и т. п., так как заготовки, метизы и другие детали поставляются специализированными заводами. Многие заводы массового производства в порядке кооперирования со специализированными заводами также могут снабжаться готовыми узлами и агрегатами (механизмами) для выпускаемых машин; например, автомобильные и тракторные заводы – готовыми двигателями и др.

В структуру машиностроительного завода входят:

1) заготовительные цехи (чугунолитейные, сталелитейные, литейные цветных металлов, кузнечные, кузнечно-прессовые, прессовые, кузнечно-штамповочные и др.);

2) обрабатывающие цехи (механические, термические, холодной штамповки, деревообрабатывающие, металлопокрытий, сборочные, окрасочные и др.);

3) вспомогательные цехи (инструментальные, ремонтно-механические, электроремонтные, модельные, экспериментальные, испытательные и др.);

4) складские устройства (для металла, инструмента, формовочных и шихтовых материалов, принадлежностей и разных материалов для готовых изделий, топлива, моделей и др.);

5) энергетические устройства (электростанция, теплоэлектроцентраль, компрессорные и газогенераторные установки);

6) транспортные устройства;

7) санитарно-технические устройства (отопление, вентиляция, водоснабжение, канализация);

8) общезаводские учреждения и устройства (центральная лаборатория, технологическая лаборатория, центральная измерительная лаборатория, главная контора, проходная контора, медицинский пункт, амбулатория, устройства связи, столовая и др.) [1].

1.2. Общий обзор применяемых видов обработки деталей машин

1. Изготовление заготовок деталей машин производится:

а) литьем металлов различными способами: в земляные формы, в металлические формы (кокили), центробежным способом, под давлением, по выплавляемым моделям (прецизионное литье), в оболочковые (корковые) формы, методом вакуумного всасывания (литье цветных сплавов);

б) обработкой металлов давлением (пластическим деформированием), ковкой, штамповкой (горячей и холодной), прессованием (выдавливанием), прокаткой, волочением;

в) литьем из пластмасс;

г) штамповкой пластмасс.

2. Обработка заготовок деталей машин механическими способами:

а) снятием стружки – резание металла лезвийными инструментами и абразивами на металлорежущих станках;

б) пластическим деформированием (без снятия стружки) – уплотнение металла; обкатывание и раскатывание роликами, дорнование – калибрование отверстий шариком или оправкой; накатывание;

в) холодной правкой металлических деталей;

г) дробеструйной обработкой металлических деталей, которая состоит в том, что термически обработанные детали подвергают в специальных установках ударному воздействию потока стальной или чугунной дроби, выбрасываемой механическим (или пневматическим) дробеметом. Сущность процесса заключается в том, что поверхностный слой обрабатываемой детали пластически деформируется – наклепывается, благодаря чему его твердость и прочность повышаются;

д) пластическим деформированием пластмасс.

3. Химико-механическая обработка:

а) доводка (притирка) притирами с применением мелкозернистых абразивных и алмазных порошков, микропорошками и пастами. Материал притира должен быть мягче, чем материал обрабатываемой детали;

б) полирование мягкими кругами (из сукна, бязи, войлока, бумаги, кожи) с помощью полировальных паст, содержащих как притирочные пасты, так и поверхностно-активные вещества, химически воздействующие на обрабатываемый материал;

в) обработка (затачивание и доводка) твердосплавного инструмента в растворе серноокислой меди с помощью абразивного порошка и металлического диска.

4. *Электрохимическая обработка.* Сущность электрохимических методов заключается в применении электрической энергии в форме электролиза. Одним из таких методов является электрополирование, которое осуществляется в обычных электролитических ваннах с применением специальных электролитов и соответствующих режимов тока.

5. *Термическая обработка.* Термическая обработка применяется с целью видоизменения структуры металла для получения заданных техническими требованиями механических и физических свойств. Термическая обработка деталей машин может быть применена на начальной, промежуточной и конечной стадиях технологического процесса. Характер операций термической обработки обуславливается конструктивными и эксплуатационными требованиями, а также требованиями технологии механической обработки.

Химико-термическая обработка металлических деталей применяется с целью улучшить физико-химические и механические свойства деталей – повысить их жаропрочность, износостойчивость и т. д. путем изменения химического состава поверхностного слоя металла, который искусственно насыщается азотом (процесс носит название азотирования), алюминием (алитирование), углеродом и азотом одновременно с последующей закалкой (цианирование) и некоторыми другими элементами. Сюда же иногда относят широко распространенный процесс термической обработки – насыщение низкоуглеродистой стали углеродом с последующей закалкой (цементация).

6. *Старение заготовок деталей.* Старение имеет целью привести структуру отливки в состояние равновесия, т. е. освободить заготовку от внутренних напряжений, возникающих как при застывании металла, так и при предварительной механической обработке (обдирке).

Старение бывает *естественное и искусственное.* Метод естественного старения заключается в том, что заготовка после литья или после обдирки выдерживается на открытом воздухе под воздействием атмосферы в течение 0,5 – 6 месяцев и более.

Ввиду длительности этого процесса чаще применяется метод искусственного старения. Искусственное старение преимущественно осуществляется термической обработкой заготовки путем нагревания ее в печи (электрической, газовой, индукционной) при температуре 450 – 500° С, выдержки в течение 12 – 15 ч и охлаждения в течение 2,5 – 3 ч вместе с печью, после чего заготовка окончательно охлаждается на воздухе.

Иногда искусственное старение производят другими способами, например, обстукиванием детали, подвешенной на блоке, встряхиванием, пропусканием электрического тока, пропусканием детали через моечную машину с холодной и горячей водой, шлифованием необрабатываемых поверхностей детали ручными шлифовальными кругами, виброобработкой, статической нагрузкой.

Старение применяется преимущественно для крупных литых деталей, от которых требуется возможно большая стабильность формы и размеров, например для станин металлорежущих станков.

1.3. Основные факторы, определяющие выбор типа и особенностей технологического процесса механической обработки

На характер технологического процесса механической обработки влияют следующие основные факторы:

- а)* размер производственной программы в зависимости от типа производства и организационных форм выполнения технологического процесса;
- б)* конструктивная форма, размеры и технологичность детали;
- в)* материал детали и его свойства;
- г)* форма, размер и точность изготовления исходных заготовок;
- д)* требования к точности и качеству обработанной поверхности и другие требования по техническим условиям;
- е)* характер используемого оборудования и технологической оснастки.

1.4. Исходные данные и последовательность технологических расчетов

Для правильного построения технологического процесса обработки основных поверхностей детали следует иметь *исходные данные*, определяющие необходимость применения тех или иных методов обработки. К ним относятся: рабочий чертеж, производственная программа, данные о заготовке, типаж оборудования, данные о технологической оснастке, а также технико-экономические показатели и др.

Рабочий чертеж детали, подлежащей изготовлению, должен быть исполнен с исчерпывающей полнотой и отвечать следующим требованиям:

- а)* чертеж должен иметь достаточное количество проекций и разрезов, позволяющих иметь правильное представление о форме детали;

б) на чертеже должны быть обозначены все допуски на размеры детали либо в форме отклонений от номинальных размеров, либо в форме условных обозначений посадок и классов точности;

в) для всех поверхностей, подлежащих механической обработке, на чертеже должен быть указан класс чистоты поверхности в виде условного обозначения, а в случае необходимости – и разряд чистоты;

г) чертеж должен давать указание о материале детали, его твердости и термической обработке, что имеет значение для правильного назначения режимов резания;

д) на чертеже должны быть указания о количестве деталей, подлежащих установке на каждую машину, и особые требования к обработке (например, необходимость местной термической обработки и т. п.);

е) на чертеже должны быть приведены все технические условия изготовления, определяющие точность геометрической формы поверхностей, точность их взаимного расположения и особые условия (точность соблюдения веса, необходимость сортировки на группы по размерам или другим признакам и т. п.), а также условия, которые должны быть обеспечены для правильной сборки деталей в узлы.

Производственная программа. Учитывая современное многообразие средств производства (наличие станков различных типов и различной производительности), а также возможности применения различных методов обработки (использование однопозиционных и многопозиционных приспособлений или приспособлений с непрерывно вращающимся столом и т. п.), при проектировании технологического процесса необходимо знать количество деталей, подлежащих изготовлению в определенный промежуток времени.

Данные о заготовке. Составляя план механической обработки, принимают во внимание метод получения заготовки (литье, штамповка, прокат и т. п.) и точность ее как фактор, определяющий припуски, подлежащие снятию в процессе обработки. Желательно иметь чертеж заготовки с техническими условиями на ее изготовление, так как расположение и размеры уклонов штамповок и литья необходимо учитывать при проектировании приспособлений для механической обработки.

Важное значение имеют расположение литников и выпоров на отливках и термическая обработка, проводимая в заготовительных цехах перед механической обработкой, как факторы, определяющие «обрабатываемость» материала.

Типаж оборудования. Данные об оборудовании предопределяют возможность применения того или иного процесса обработки. Например, при проектировании технологического процесса, учитывают использование действующего на предприятии оборудования или необходимость приобретения новых станков соответствующей номенклатуры.

Данные о технологической оснастке характеризуют технологическую оснащенность производства и предопределяют качественную сторону разрабатываемого технологического процесса, на выбор которого влияют *степень точности и класс чистоты поверхности* обрабатываемой детали. Повышение требований к качеству поверхностей обрабатываемых деталей неминуемо ведет к изменению характера технологии, т. е. к увеличению количества операций, переходов и проходов по их обработке, а нередко и к применению специальных отделочных операций.

Технико-экономические показатели должны быть положены в основу проектирования любого технологического процесса. Эти показатели должны учитывать, при каких условиях с соблюдением всех требований чертежа обработка детали будет осуществлена с наименьшими затратами.

Прежде чем приступить к составлению технологического процесса, необходимо тщательно ознакомиться с *системой простановки размеров на чертеже*, определяющих взаимное расположение обрабатываемых поверхностей. Простановка размеров на чертеже в значительной степени предопределяет выбор установочных баз и последовательность обработки, так как в первую очередь обрабатывают те поверхности, от которых определяется большое число других поверхностей.

После выбора установочных баз и технологического маршрута производят расчет припусков, в результате которого с учетом заданной точности и класса чистоты поверхности определяют необходимые переходы, находят промежуточные размеры заготовки по всем переходам от готовой детали до черной заготовки, устанавливают допуски на межоперационные размеры в пределах заданного класса точности. При этих расчетах выявляется целесообразность раздельного выполнения черновой и чистовой, а в ряде случаев и получистовой обработки.

При разделении процесса на черновые и чистовые операции каждая поверхность детали получает окончательную форму и размер не сразу, а претерпевает изменения постепенно, параллельно с подобными же изменениями, которым подвергаются другие поверхности. Каждая поверхность обрабатывается несколько раз на разных операциях, каждая предшествующая операция подготавливает поверхность к обработке на последую-

щей операции. При переходе от одной операции к другой точность поверхности постепенно повышается; возрастает и точность ее расположения относительно других поверхностей детали.

Целесообразность деления процесса на черновые и чистовые операции объясняется следующим.

При обработке какой-либо поверхности нельзя избежать некоторого искажения ранее обработанных поверхностей из-за перераспределения внутренних напряжений в детали при снятии припуска и вследствие закрепления детали при обработке. Если какую-либо поверхность высокой точности сразу же обработать окончательно, то она в результате перераспределения внутренних напряжений, вызванного обработкой других поверхностей, неизбежно потеряет свою точность. Кроме того, эта поверхность может быть повреждена при закреплении детали, а также при транспортировке детали с операции на операцию. Искажения под влиянием внутренних напряжений тем меньше, чем тоньше снимаемый слой металла. При чистовой операции, т. е. при окончательной обработке, снимаются небольшие припуски, и деталь уже не может получить существенных искажений. Особенно важно делить процесс на черновые и чистовые операции при обработке мало жестких деталей.

Разделение процесса позволяет рационально использовать не только оборудование, но и особенности различных методов обработки. Например, черновой обработкой удаляется большая часть общего припуска, но при этом не требуется высокая точность; стало быть, черновая обработка может выполняться на станках, позволяющих снимать стружки большего сечения. Окончательную же обработку, назначение которой довести деталь до заданной точности, можно производить на других станках и другими методами, обеспечивающими эту точность. Например, черновую и чистовую обработку цилиндрических поверхностей можно выполнить на токарных станках, а окончательную – на шлифовальных и в целом достичь наилучших результатов, как по производительности, так и по точности.

Заготовки с небольшими припусками, достаточно жесткие, прошедшие термическую обработку для снятия внутренних напряжений, можно обрабатывать сразу же начисто, если объем обработки невелик и не требуется особой точности. При обработке корпусных деталей деление на черновые и чистовые операции нередко оказывается нежелательным из-за трудностей установки таких деталей на станке. Однако если требования к точности обработки высоки, то и в этих случаях неизбежно деление операций на черновые и чистовые.

При составлении плана обработки детали, прежде всего, решают вопрос о числе и содержании операций технологического процесса. При этом можно исходить из двух различных принципов: принципа концентрации и принципа дифференциации операций. Первое направление характеризуется стремлением сосредоточить в одной операции обработку возможно большего числа поверхностей. Пределом концентрации является выполнение всей обработки детали в одну операцию. Второе направление, наоборот, предусматривает разукрупнение обработки и упрощение каждой операции путем увеличения их числа. Пределом дифференциации является разделение технологического процесса на такие операции, каждая из которых будет состоять только из одного простого перехода.

Концентрация операций уменьшает число установок детали, что существенно при обработке тяжелых или громоздких деталей и в случаях, когда необходимая точность взаимного расположения поверхностей проще достигается обработкой с одного станка (например, concentricность поверхностей вращения). Сокращается число приспособлений, необходимых для установки и закрепления детали, и появляется возможность использовать станки повышенной производительности (многолезцовые, многошпиндельные и т. п.).

Дифференциация упрощает наладку оборудования, появляется возможность использования малоквалифицированных рабочих и наиболее выгодных режимов резания в каждом переходе.

Одним из главных факторов, определяющих выгодные условия дифференциации операций, является производственная программа или размер партии деталей. Обычно стремятся разбить обработку детали на такие операции, чтобы за каждым станком можно было закрепить только одну операцию. Если программа мала и для удовлетворительной загрузки оборудования приходится закреплять за одним станком несколько операций, то концентрация операций позволяет уменьшить число переналадок станков, упростить планирование и сократить объем межоперационной транспортировки деталей. Если же программа столь велика, что даже при значительной дифференциации операций выполнение многих из них требует нескольких станков на каждую операцию, то становится выгодным концентрировать операции с целью использования более производительного и даже специального оборудования.

Важным вопросом обеспечения точности изготовления детали является выбор *установочной поверхности* для обработки детали на первой

операции. Эта операция предназначена для обработки той поверхности, которая в дальнейшем будет служить *технологической базой* для всего процесса.

При выборе технологических баз необходимо руководствоваться следующими положениями:

а) технологическая база должна быть обработана с точностью, обеспечивающей получение деталей требуемого качества. Точность обработки базовых поверхностей должна быть в 2 – 3 раза выше точности обработки тех поверхностей, которые обрабатываются от этих баз;

б) технологические базы по возможности должны являться одновременно конструкторскими, а также контрольными базами;

в) при необходимости особенно точно выдержать допуск на расположение обрабатываемой поверхности; в качестве установочных необходимо выбирать те поверхности, от которых должны выдерживаться заданные размеры, или обрабатывать их за один установ;

г) выбранные установочные поверхности не должны допускать деформаций детали, которые могут быть вызваны действием силы зажимов или усилий резания при простоте конструкции приспособления;

д) при обработке поверхности, выбранной в качестве технологической базы, следует устанавливать деталь по поверхности, которая остается черной в окончательно обработанной детали. Если таких поверхностей несколько, то деталь устанавливают по той из них, которая должна иметь наименьшее смещение. При обработке базовой поверхности детали шлифовальными кругами ее установка производится по той поверхности, которая имеет наименьший припуск на обработку. Вся дальнейшая обработка ведется от обработанных базовых поверхностей.

1.5. Выбор технологической схемы обработки

Выбор последовательности операций производится по следующей общей схеме [2].

Обработка должна начинаться с поверхности, которая будет являться технологической базой для установки детали в процессе ее изготовления, причем обработка поверхности должна выполняться с такой точностью (по линейным размерам и геометрической форме), которая обеспечила бы необходимую точность установки детали при дальнейших операциях.

Порядок чередования последующих операций механической обработки должен быть обратным их точности, т. е. обработка должна начинаться с операций наиболее грубых, главным образом связанных со снятием корки, после чего надлежит переходить к операциям чистовым и заканчивать обработку отделочными и доводочными операциями. Разберем пример обработки фланцевой втулки (рис. 1.2).

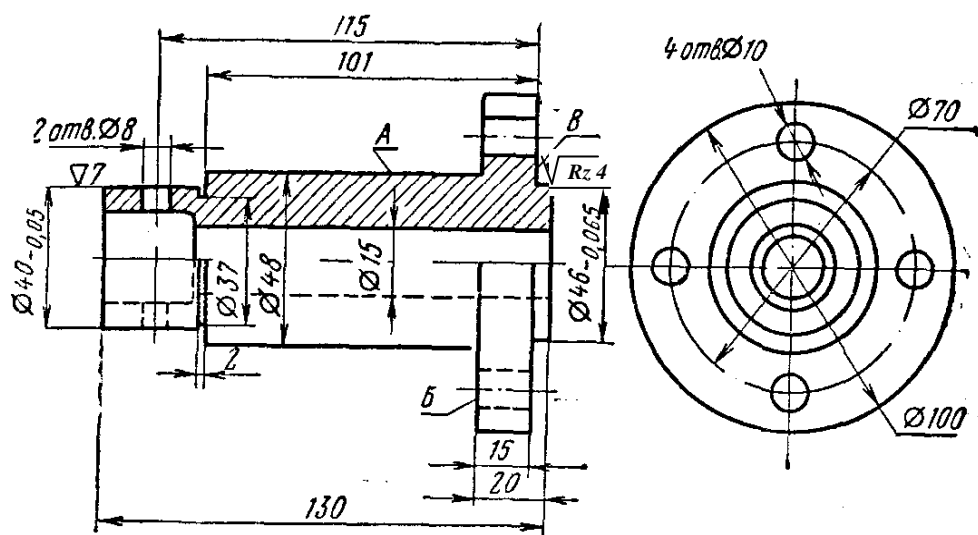


Рис. 1.2. Втулка фланцевая

Прежде всего, выбираем главную технологическую базу для установки детали в процессе всей обработки.

Выбирая главную технологическую базу, нужно проанализировать условие работы данной детали в собранном узле и определить ее конструкторскую базу, помня о том, что технологическая и конструкторская базы по возможности должны совпадать. Конструкторской базой для рассматриваемой втулки является буртик $\text{Ø}46_{-0,065}$ мм, с помощью которого деталь центрируется в расточенном отверстии корпуса, с которым она сопрягается. Кроме того, конструкторской базой является торец фланца $\text{Ø}100$ мм, которым втулка прилегает к корпусу.

Так как поверхности детали, подлежащие обработке, представляют собой концентрически расположенные цилиндрические поверхности, то за основную базирующую поверхность примем обточенный буртик $\text{Ø}46_{-0,065}$ мм и обточенный торец $\text{Ø}100$ мм (поверхность *B*).

В табл. 1.1 приводится технологическая схема обработки фланцевой втулки с подробным изложением и обоснованием последовательности выполнения операций, а также базирования.

Таблица 1.1

Технологическая схема механической обработки фланцевой втулки

№ п/п	Наименование операции	Выбор баз	Назначение операции
1	Обтачивание в два прохода буртика $\varnothing 46_{-0,065}$, обтачивание фланца $\varnothing 100$, подрезание торца фланца $\varnothing 100$, выдержав размеры 15 и 20	Поверхность А (обеспечивающая concentricity буртика $\varnothing 46_{-0,065}$ относительно поверхности А) и торец Б (обеспечивающий размер 15 между подрезанным торцом $\varnothing 100$ и торцом Б)	Обеспечение точного расположения поверхностей, выбранных в качестве технологической базы (буртик $\varnothing 46_{-0,065}$ и торец $\varnothing 100$) относительно поверхностей, которые останутся у окончательно обработанной детали черными (поверхность А и торец Б), с тем чтобы буртик $\varnothing 46_{-0,065}$ был обточен concentricity поверхности А и торец $\varnothing 100$ был подрезан в размер 15 относительно торца Б
2	Сверление отверстия $\varnothing 15$	Буртик $\varnothing 46_{-0,065}$ (обеспечивающий concentricity отверстия $\varnothing 15$ относительно буртика $\varnothing 46_{-0,065}$) и подрезанный торец $\varnothing 100$ (обеспечивающий перпендикулярность оси отверстия $\varnothing 15$ относительно подрезанного торца $\varnothing 100$)	Обеспечение concentricity расположения отверстия $\varnothing 15$ относительно буртика $\varnothing 46_{-0,065}$ и перпендикулярности оси отверстия $\varnothing 15$ относительно подрезанного торца $\varnothing 100$
3	Сверление четырех отверстий $\varnothing 10$	Буртик $\varnothing 46_{-0,065}$ (обеспечивающий расположение отверстия $\varnothing 10$ на окружности $\varnothing 70$) и подрезанный торец $\varnothing 100$ (обеспечивающий перпендикулярность отверстий относительно подрезанного торца $\varnothing 100$). Взаимное расположение отверстий под углом 90° обеспечивается соответствующим расположением направляющих втулок для сверл в приспособлении	Обеспечение точного расположения отверстий $\varnothing 10$ на окружности $\varnothing 70$, concentricity наружной поверхности буртика $\varnothing 46_{-0,065}$ и перпендикулярности их осей относительно подрезанного торца $\varnothing 100$; обеспечение взаимного расположения отверстий $\varnothing 10$ под углом 90°

Окончание табл. 1.1

4	Обтачивание $\varnothing 40,5$ под шлифование, подрезание торца, с выдерживанием размера 130 от подрезанного торца $\varnothing 100$, и протачивание канавки $\varnothing 37 \times 2$, выдержав размер 101	Буртик $\varnothing 46_{-0,065}$ (обеспечивающий concentricity расположения поверхности $\varnothing 40,5$ относительно буртика $\varnothing 46_{-0,065}$) и подрезанный торец $\varnothing 100$ (обеспечивающий линейные размеры 130 и 101)	Обеспечение concentricity расположения $\varnothing 40,5$ относительно буртика $\varnothing 46_{-0,065}$ и линейных размеров 130 и 101 от подрезанного торца $\varnothing 100$
5	Сверление двух отверстий $\varnothing 8$	Буртик $\varnothing 46_{-0,065}$ (обеспечивающий пересечение оси отверстий $\varnothing 8$ с осью детали), подрезанный торец $\varnothing 100$ (обеспечивающий размер 115 от оси отверстия $\varnothing 8$ до подрезанного торца $\varnothing 100$) и одно из отверстий $\varnothing 10$ (обеспечивающее расположение осей отверстий $\varnothing 8$ и $\varnothing 10$ в одной плоскости)	Оси отверстий $\varnothing 8$ должны пересекать ось детали и лежать в одной плоскости с осями отверстий $\varnothing 10$ на расстоянии 115 от подрезанного торца
6	Шлифование поверхности $\varnothing 40_{-0,05}$	Буртик $\varnothing 48_{-0,065}$ (обеспечивающий concentricity поверхности $\varnothing 40_{-0,05}$ относительно буртика $\varnothing 46_{0,065}$)	Обеспечение concentricity расположения поверхности $\varnothing 40_{-0,05}$ относительно буртика $\varnothing 46_{-0,005}$

2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК

В механических цехах среднего и малого масштаба предварительная обработка заготовок, т. е. выполнение заготовительных операций, обычно производится в заготовительном отделении, которое часто располагается при цеховом складе заготовок и материалов. При наличии на заводе нескольких крупных механических цехов вместо заготовительного отделения организуется самостоятельный заготовительный цех, обслуживающий все металлообрабатывающие цехи завода.

В заготовительном отделении или цехе прокат в виде прутков подвергается правке, обдирке, разрезанию, центрованию. Поковки и штамповки также проходят заготовительные операции: фрезерование и центрование торцов (концов), обдирку и предварительное растачивание отверстий.

Заготовительные операции для прутков обычно выполняются в следующем порядке: 1 – правка; 2 – бесцентровая обдирка; 3 – разрезание; 4 – центрование (если пруток предназначен для дальнейшей обработки на револьверном станке или автомате, центрование прутка не производится); 5 – контроль выполненных операций.

2.1. Правка заготовок

Перед началом механической обработки прутковый материал и заготовки для валов с целью устранения искривления осей правят в холодном состоянии. Заготовки в виде поволоков и штамповок при значительных их диаметрах и длине правят в нагретом состоянии под молотами.

Прутки и заготовки для валов можно править на прессах ручных, винтовых, эксцентриковых, гидравлических, пневматических и фрикционных; последние три вида прессов применяют главным образом в автотракторостроении. Перед правкой валы проверяют в центрах и при этом определяют места, подлежащие правке; после этого их правят на прессах с помощью призм.

Большое количество прутков правят на специальных правильных станках. На этих станках правка осуществляется тремя парами роликов с вогнутой поверхностью (формы гиперболоидов вращения), расположенных в шахматном порядке, причем у первой пары роликов, подающих выпрямляемый пруток, один ролик расположен над другим. Все шесть роликов расположены в барабане под углом $\alpha = 70^\circ$ к оси барабана, который вращается вокруг прутка. При вращении барабана ролики также вращают-

ся и, обкатываясь при этом вокруг прутка, осуществляют процесс его правки. Скорость поступательного движения прутка – подача лежит в пределах 5 – 30 м/мин в зависимости от скорости вращения барабана, приводимого в действие электродвигателем через коробку скоростей. Перед поступлением в барабан прутки закрепляются в специальных стойках, передвигающихся на роликах. В зависимости от степени искривления оси прутка и требуемой прямолинейности поверхности прутки пропускают через барабан от 1 до 6 раз. Точность правки достигает 0,1 – 0,2 мм на 1 м длины прутка.

На многих заводах встречаются также правильные станки с тремя роликами, находящимися в неподвижном барабане и передающими вращение прутку. Ввиду наличия всего лишь трех роликов производительность таких станков меньше, чем станков с шестью роликами.

Для прутков диаметром от 3 до 20 мм применяются небольшие правильные станки с одной парой роликов.

2.2. Обдирка прутков

Для обдирки прутков применяют бесцентрово-обдирочные станки, на которых можно производить обдирку пруткового материала диаметром от 15 до 80 мм, длиной до 7 м. Процесс обработки на таких станках протекает следующим образом. Центральное зубчатое колесо, приводимое во вращение электродвигателем через коробку скоростей, вращает две резцовые головки. Одна головка (левая) с резцом производит черновую обдирку, другая (правая) с резцом – получистовую обдирку. Сухари предохраняют прутки от прогиба, возникающего от радиальных составляющих сил резания. Подача прутка осуществляется двумя специальными роликами, имеющими крупную насечку. Изменяя число оборотов этих роликов, можно получать три разные величины подачи прутка на один оборот резцовой головки. В зависимости от числа оборотов роликов подача прутка составляет от 175 до 600 мм/мин.

2.3. Разрезание прутков, валов, труб и листов

Прутки и валы разрезают на приводных ножовках, на пилах – дисковых, ленточных, фрикционных, электрофрикционных, на токарно-отрезных станках (с одним или двумя отрезными резцами), отрезных автоматах, станках, работающих тонким абразивным кругом (применяются для разре-

зания закаленной стали и труб). В механических цехах разрезание иногда производят на фрезерных станках прорезными фрезами.

Прутковый материал можно разрезать также на прессах и ножницами, что применяется главным образом в заготовительных отделениях кузнечных цехов.

Для разрезания листового материала обычно применяют ножницы различных конструкций: ручные, ступовые, гильотинные, роликовые.

Помимо указанных способов механического разрезания пруткового и листового материала (некоторые из них используются и для разрезания труб) применяется также газовое (автогенное), анодно-механическое, электроискровое и ультразвуковое разрезание.

Приводные ножовки разрезают прутковый материал ножовочным полотном, которое совершает под некоторым давлением возвратно-поступательное движение от механического привода. Режущие кромки зубьев ножовочного полотна направлены в сторону разрезания; полотно прижимается к разрезаемому материалу только во время рабочего хода, а при обратном ходе приподнимается гидравлическим механизмом. Вследствие этого трение зубьев о материал при обратном ходе исключается, износ полотна уменьшается, а производительность ножовки увеличивается. Ширина прореза при пользовании приводными ножовками меньше, чем при разрезании дисковыми пилами, а следовательно, потеря материала малая. Обслуживание ножовок просто: один рабочий может обслуживать 5 – 6 ножовок. По сравнению с дисковыми пилами и другими отрезными станками производительность приводных ножовок меньше, и, кроме того, ножовки дают часто косой прорез, снижая эффект применения тонких ножовочных полотен, так как в этом случае после отрезки необходимо подрезать торцы для придания им перпендикулярности по отношению к оси заготовки.

Дисковая пила представляет собой диск с режущими зубьями, очень сходный с тонкой фрезой; эти пилы широко применяются для разрезания проката, прутков, балок разных профилей и труб. Так как изготовление пил большого диаметра целиком из быстрорежущей стали нерационально и обходится дорого, их изготавливают составными – из диска углеродистой стали со вставными зубьями из быстрорежущей стали или к диску из углеродистой стали приклепывают зубчатые сегменты из быстрорежущей стали. Разрезание прутков дисковой пилой производят по одному или пакетом. Скорость обратного хода $S_{ох}$ принимается в среднем равной 2000 мм/мин. При разрезании круглого прутка или балок таврового, двутаврового, швеллерного профиля площадь сечения постоянно изменяется по мере прохождения пи-

лы, вследствие чего при равномерной подаче пилы происходят резкие изменения силы резания. Эти изменения отрицательно отражаются на работе станка, вызывая сильные напряжения в отдельных его частях. Чтобы избежать этого, необходимо производить подачу соответственно величине площади разрезаемого сечения в данный момент так, чтобы станок всегда работал при одинаковой силе резания, т. е. с переменной величиной подачи. Это осуществляется механизмом гидравлической подачи, которым снабжаются современные дисковые пилы. Гидравлическая система подачи имеет преимущество перед механической, так как позволяет точно устанавливать и плавно изменять величину подачи, благодаря чему станок работает значительно спокойнее. Современные дисковые пилы снабжаются также гидравлическими зажимными приспособлениями. Так как с уменьшением ширины пропила уменьшаются время резания (благодаря увеличению подачи) и расход разрезаемого материала, то выгоднее вести работу при наименьших толщинах пильного диска. Поэтому целесообразно для каждого станка иметь набор пильных дисков различных диаметров и толщин. Это дает возможность также расширить диапазон скоростей резания, благодаря чему улучшается использование станка.

Ленточные пилы имеют форму бесконечной ленты толщиной 1,0 – 1,5 мм. Они бывают вертикальные, горизонтальные и наклонные. Потери на прорез при разрезании ленточной пилой незначительны, так как толщина ленты мала. Ленточные пилы применяются главным образом для разрезания пруткового материала из цветных металлов (латуни, красной меди, алюминия и др.), а также для вырезания кривошипов коленчатых валов, шатунов и других подобных деталей. Широкого распространения ленточные пилы не получили ввиду сравнительно высокой цены инструмента, т. е. пильной ленты.

Фрикционной (или беззубой) пилой называется тонкий стальной диск, вращающийся от электродвигателя (со скоростью 100 – 140 м/с). При подаче и вращении диск вследствие возникающего трения нагревает частицы металла в прорезе до температуры, при которой начинается плавление. Расплавленный металл удаляется из прореза самим же диском, который охлаждается воздухом и водой. Для увеличения трения поверхность круга снабжают частой насечкой, что несколько увеличивает ширину пропила. Подача диска бывает ручная и механическая. Фрикционные пилы разрезают материал очень быстро, но требуют для привода электродвигатель большой мощности. Фрикционными пилами можно разрезать закаленные стальные детали, не поддающиеся разрезанию обыкновенными пилами.

Электрическая фрикционная пила разрезает материал путем совместной работы фрикционной (беззубой) пилы с вольтовой дугой. Вращающийся диск соединен с одним полюсом источника электроэнергии, а разрезаемый материал – с другим; при этом образуется вольтова дуга. Металл в прорезе плавится, а вращающийся диск только удаляет расплавленный металл. Поверхность металла в прорезе получается довольно ровной и чистой.

Отрезные станки служат для разрезания по длине круглых и шестигранных прутков, а также труб. У этих станков на прочной станине расположена передняя бабка с пустотелым шпинделем, по обоим концам которого размещены самоцентрирующие зажимные патроны. Достоинством этих станков являются большая производительность, простота и невысокая себестоимость самого станка и инструмента (резцов). Недостатком отрезных станков является широкий прорез (3 – 5 мм), что приводит к большой потере материала.

Имеются отрезные станки, снабженные двумя суппортами – передним и задним – и работающие одновременно двумя резцами, благодаря чему их производительность повышается. Увеличение производительности отрезных станков достигается также устройством, регулирующим и поддерживающим постоянную скорость резания. При разрезании прутка (или вала) по мере приближения резцов к его продольной оси скорость резания при одинаковом числе оборотов шпинделя станка вследствие уменьшения диаметра прутка в месте разреза постепенно убывает. В станках же с постоянной скоростью резания по мере приближения резцов к оси прутка число оборотов шпинделя станка все время повышается, что ускоряет выполнение операции.

Вертикальные отрезные автоматы приспособлены для разрезания калиброванных по диаметру и ровных (не изогнутых) по всей длине прутков. У этих станков пруток закладывается сверху, благодаря чему они занимают малую площадь в цехе. Пруток под действием своего веса опускается на подставку и зажимается; затем к разрезаемому прутку подходит суппорт с резцом. Несколько таких станков обслуживаются одним рабочим.

Токарно-сверлильно-отрезные станки применяются в заготовительных цехах для предварительной обдирки, растачивания, сверления, отрезания, как прутков, так и поковок и штамповок. В подвижной задней бабке станка крепится спиральное сверло для сверления отверстия. Передний суппорт служит для обдирки и растачивания, задний – для отрезания заготовки от прутка.

Станки, работающие тонким абразивным кругом, служат для разрезания прутков и труб. Применяются абразивные эластичные круги

толщиной 2 – 3 мм, благодаря чему потеря металла на прорез незначительна. При разрезании труб большого диаметра их необходимо поворачивать вокруг оси. Производительность разрезания абразивным кругом довольно высока; например, пруток диаметром 40 – 50 мм разрезается за 5 – 6 с.

Разрезание на других станках

Кроме указанных выше способов, прутки, трубы и заготовки (штамповки, поковки, отливки) можно разрезать на обычных токарных, горизонтально-фрезерных и строгальных станках. Все эти способы менее производительны и применяются не в специализированных заготовительных цехах и отделениях, а в небольших механических цехах. Разрезание на горизонтально-фрезерных станках отрезными фрезами применяется несколько чаще.

В отдельных случаях разрезание прутков, труб и других производится следующими новыми методами: анодно-механическим, электроискровым, ультразвуковым, электролитическим, электронно-лучевым, с помощью лазера, взрыва и плазменной струей.

2.4. Центрование

Центровые отверстия в деталях типа валов являются базой для ряда операций: обтачивания, нарезания резьбы, шлифования, нарезания шлицев и др., а также для правки и проверки изготавливаемых деталей. Центровые отверстия в таких режущих инструментах, как сверла, зенкеры, развертки, метчики и т. д., нужны не только для обработки, но и для проверки заточки и переточки их во время эксплуатации.

При ремонтных работах сохранившимися центровыми отверстиями пользуются как базами для обтачивания изношенных или поврежденных поверхностей шеек валов, для правки, шлифования, контроля и при других операциях. Ввиду такого значения центровых отверстий центрование необходимо производить весьма тщательно: центровые отверстия должны быть правильно засверлены и иметь достаточные размеры, конусность их должна точно совпадать с конусностью центров станка. При несоблюдении этих требований центровые отверстия быстро теряют форму и размеры и повреждают центры станка.

На практике чаще всего применяют центры у станков, а значит, и центровые отверстия у заготовок (деталей) с углом конуса 60° . Иногда при обработке крупных, тяжелых деталей этот угол увеличивают до 75° , 90° . Центр станка должен соприкасаться с центровым отверстием заготовки (детали) лишь по поверхности конуса. В центровом отверстии вершина

центра не должна упираться в заготовку. Поэтому центровые отверстия (рис. 2.1) всегда имеют цилиндрическую часть малого диаметра d и коническую поверхность с наибольшим диаметром D и углом конуса 60° (тип *A*). Иногда центровое отверстие имеет еще вторую коническую поверхность с большим диаметром D_0 и углом при вершине конуса 120° (тип *B*), которая делается с целью избежать появления на торцах вала заусенцев при небольшом износе центровых отверстий, предохранить их при случайном повреждении торцов вала или, наконец, иметь возможность подрезать эти торцы без уменьшения опорной поверхности центровых отверстий. Такая конструкция центровых отверстий применяется главным образом для оправок и режущего инструмента.

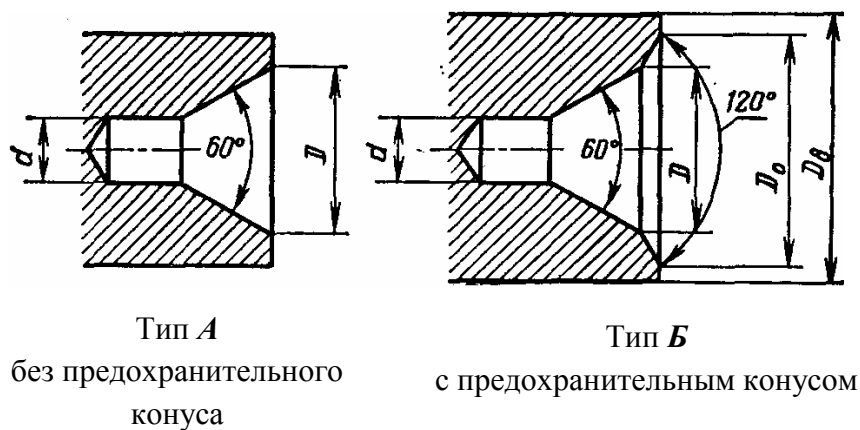


Рис. 2.1. Центровые отверстия

Центрование заготовок производится на вертикально- и горизонтально-сверлильных, токарных и револьверных станках; а в серийном и массовом производствах – на специальных одно- или двусторонних центровочных станках, а также на фрезерно-центровочных станках. На горизонтально-сверлильных станках производят центрование крупных заготовок.

Центрование заготовок производят двумя инструментами: спиральным сверлом, которым сверлится цилиндрическое отверстие малого диаметра, и зенковкой, которая образует коническую поверхность. Центрование заготовок часто производится специальными комбинированными центровочными сверлами, которые производят сверление и зенкование; двусторонние центровочные станки центруют оба конца вала одновременно (рис. 2.2).

На фрезерно-центровочных станках (рис. 2.3, *a*) у заготовки сначала фрезеруют торцевые поверхности одновременно с обоих концов, после чего комбинированными центровочными сверлами сверлят отверстия.

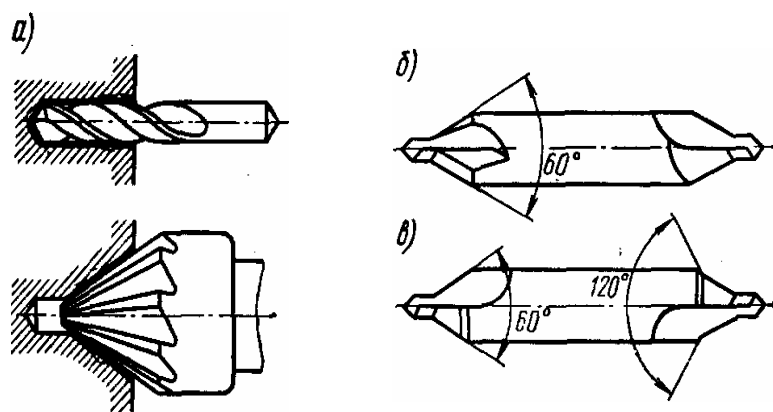


Рис. 2.2. Центрование и центровочные сверла

В настоящее время все большее применение находит метод обработки торцов и центрование заготовок с помощью одного или двух широких твердосплавных резцов, установленных вместе со стандартным комбинированным центровочным сверлом в специальной инструментальной головке, чертеж которой приведен на рис. 2.3, б. Головка состоит из державки 1, подрезного резца 8 и фасочного б, регулируемых и закрепляемых винтами 7 и 10. Стандартное центровочное сверло 9 установлено в сменную втулку 5 и закреплено в ней винтом 12. Втулка крепится в державке 1 с помощью винта 11. Расположение центровочного сверла относительно резцов регулируется с помощью винта 2 через латунную пробку 3. Винт 4 препятствует повороту пробки при регулировании вылета сверла 9. Вместо фасочного резца б в головке может быть установлен резец для обтачивания поводкового конца заготовки, что обеспечивает высокую степень concentричности этой поверхности с центровым отверстием и позволяет последующее обтачивание заготовки осуществлять с одной установки без ее поворота.

Благодаря тому, что подрезной резец оснащен пластинкой твердого сплава, а центровочное сверло изготовлено из быстрорежущей стали, при одном числе оборотов головки инструменты работают приблизительно с оптимальными скоростями резания, несмотря на разницу в диаметрах обработки. Применение такой головки для одновременного подрезания торца и сверления центрального отверстия значительно упрощает обработку.

При работе на токарном станке (рис. 2.3, в) инструментальная головка 1 устанавливается в шпиндель станка и получает вращение. Заготовка 2 крепится в зажимном самоцентрирующем приспособлении 3 ручного или пневматического действия, смонтированном на каретке суппорта, и получает поступательное движение подачи до упора 5. Для установки заготовки по длине используется регулируемый упор 4.

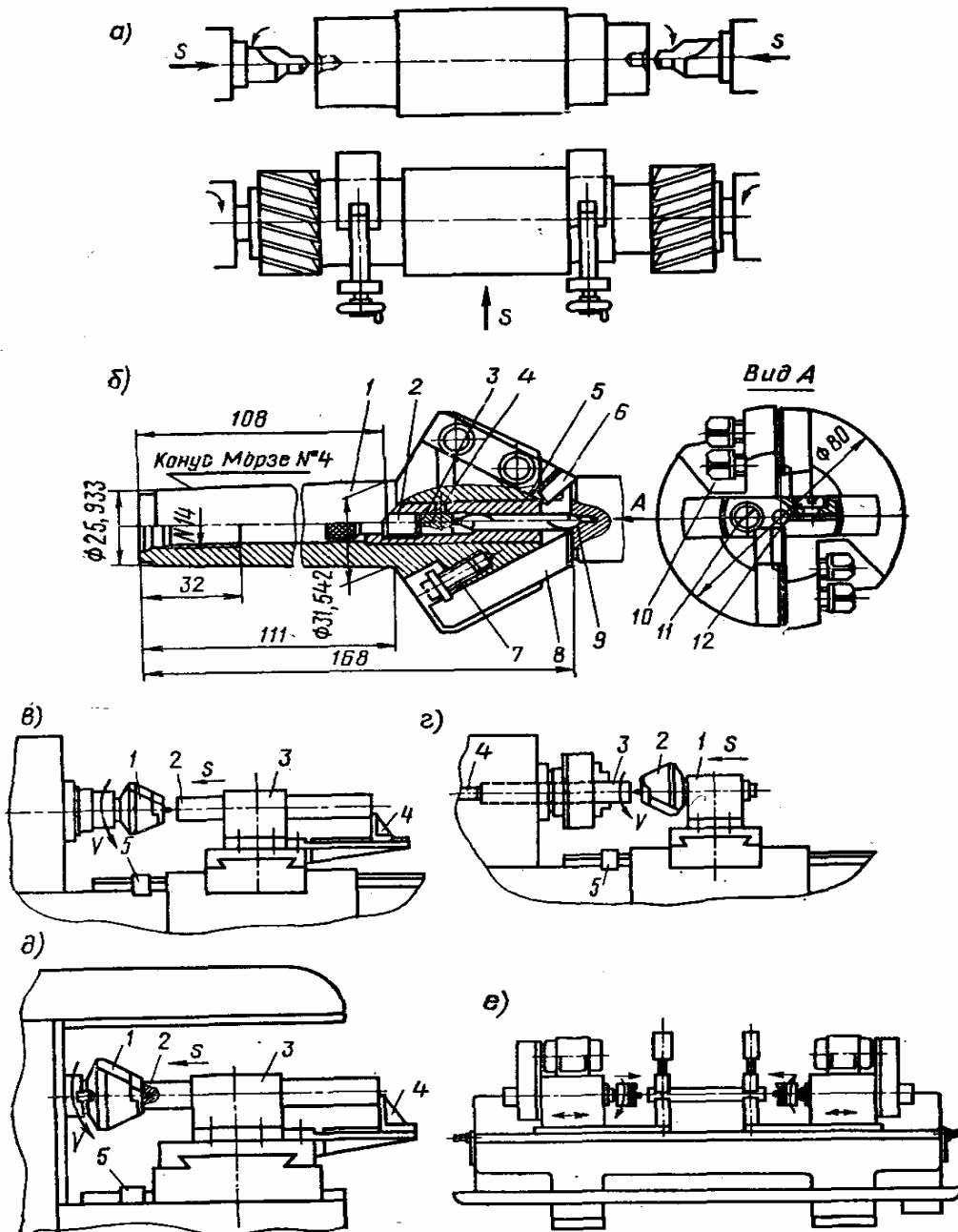


Рис. 2.3. Схемы центрования:

a – обработка на фрезерно-центровочном станке; *б* – конструкция инструментальной головки для подрезки торца и центровки заготовки диаметром до 30 мм; *в* – подрезка торца и центровка заготовки на токарном станке с вращающейся инструментальной головкой; *г* – подрезка торца и центровка заготовки на токарном станке с невращающейся головкой; *д* – подрезка торца и центрование заготовки на горизонтально-фрезерном станке; *е* – подрезка торца и центрование заготовки на специальном полуавтомате.

Возможен другой вариант обработки на токарном станке (рис. 2.3, *г*). В этом случае заготовка *3* устанавливается в отверстие шпинделя до упора *4*, зажимается в самоцентрирующем патроне и получает вращательное

движение. Инструментальная головка 2 крепится с помощью специальной державки в резцедержателе 1 станка. По такой же схеме может быть осуществлена работа на револьверном станке при установке инструментальной головки в гнездо револьверной головки.

Можно эту работу выполнять и на горизонтально-фрезерном станке (рис. 2.3, д).

Во всех трех схемах обрабатывается сначала первый торец, затем после поворота заготовки – второй.

Наилучшим вариантом с точки зрения получения высокой точности и производительности является обработка на специальном двустороннем станке (рис. 2.3, е) агрегатного типа несложной конструкции. По сравнению со станком фрезерно-центровочным (см. рис. 2.3, а) этот станок вместо четырех шпинделей имеет всего два и для заготовки не требуется горизонтальной подачи.

Основное время при фрезеровании торцов определяется по формуле

$$t_O = \frac{L}{S_M} = \frac{l_O + l_{BP} + l_{II}}{S_Z Z_n}, \quad (2.1)$$

где L – общая длина фрезерования в мм; l_O – диаметр фрезеруемого торца заготовки в мм; l_{BP} – величина врезания, равная 2 – 5 мм; l_{II} – величина перебега, равная 2 – 3 мм; S_M – подача в мм/мин; S_Z – подача на зуб фрезы в мм; Z_n – число зубьев фрезы.

Основное время при сверлении центровых отверстий определяется по формуле

$$t_O = \frac{L}{S_n} = \frac{l_O + l_{BP}}{S_n}, \quad (2.2)$$

где L – общая длина сверления в мм; l_O – длина центрового отверстия в мм; l_{BP} – величина врезания в мм;

$$l_{BP} = \frac{d}{2} \operatorname{ctg} \varphi + (0,5 \div 1,0) \text{ (мм)}, \quad (2.3)$$

φ – половина угла при вершине сверла; $2\varphi = 116 - 118^\circ$; d – диаметр цилиндрической части центрового отверстия в мм.

К величине L добавляется 0,5 – 1,0 мм на подход инструмента.

Оперативное время равно сумме основных времен на фрезерование и центрование и вспомогательного времени. В новых фрезерно-центровочных станках барабанного типа оперативное время определяется как сумма основного времени на фрезерование торцов и вспомогательного времени (поворот барабана, подход и отход инструментов). Время на центрование, установку и съём заготовки перекрывается временем фрезерования торцов.

3. ОБРАБОТКА НАРУЖНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ (ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ)

3.1. Классификация деталей – тел вращения и виды их обработки

Детали, имеющие форму тел вращения, можно разбить на три класса: валы, втулки и диски.

К классу «валов» относятся валы, валики, оси, пальцы, цапфы и т. п. Эти детали образуются в основном наружной поверхностью вращения – цилиндрической, иногда конической – и несколькими торцевыми поверхностями.

К классу «втулок» относятся втулки, вкладыши, гильзы, буксы и т. п. Эти детали характеризуются наличием наружной и внутренней цилиндрических поверхностей.

В класс «диски» входят диски, шкивы, маховики, кольца, фланцы и т. п., т. е. такие детали, у которых длина (ширина) значительно меньше диаметра и, значит, большие торцевые поверхности.

Валы большей частью изготавливаются из проката. Другие детали, относящиеся к этому классу, изготавливаются также из поковок, штамповок и резе – отливок. Прокатный материал применяют для изготовления валов как малых, так и больших (150 – 200 мм) диаметров.

Для заготовок гладких валов подбирается прокат диаметра, близкого к диаметру готового вала, с тем, чтобы обеспечить минимально допустимый припуск на механическую обработку.

При изготовлении из проката валов ступенчатой формы большое количество материала превращается в стружку, поэтому в серийном и особенно в массовом производстве целесообразно, если это технологически возможно, заготовку для валов ступенчатой формы изготавливать путем штампования.

Прокат в виде прутков предварительно подвергается правке, разрезанию, центrovанию. Обтачивание заготовок для валов и других деталей, имеющих форму тел вращения, бывает следующих видов:

- черновое (или обдирочное) – с точностью обработки до 5-го класса и с шероховатостью поверхности до 3-го класса включительно;
- чистовое с точностью обработки до 4-го класса и с шероховатостью поверхности до 6-го класса включительно;
- чистовое точное и тонкое – с точностью обработки до 2-го класса и с шероховатостью поверхности до 9-го класса включительно. Обработку указанных деталей производят на различных станках: токарно-винторезных, токарно-револьверных, многорезцовых, токарно-карусельных, од-

ношпиндельных и многошпиндельных токарных полуавтоматах и автоматах. На указанных станках можно выполнять следующие операции: 1) обтачивание наружных цилиндрических, конических и фасонных поверхностей; 2) растачивание цилиндрических и конических отверстий; 3) подрезание торцевых поверхностей; 4) протачивание канавок и снятие фасок; 5) нарезание наружной и внутренней резьбы; 6) сверление; 7) зенкерование; 8) развертывание; 9) зенкование; 10) центрование; 11) разрезание; 12) накатывание, рифление и др. Детали, обрабатываемые на станках токарной группы, устанавливаются в центрах станка или закрепляются в патроне или на планшайбе. Заготовки коротких цилиндрических деталей, поковки, штамповки, отливки закрепляют в трехкулачковых и реже – в четырехкулачковых патронах; детали больших размеров устанавливают преимущественно в четырехкулачковых патронах.

Обтачивание на токарных станках длинных нежестких валов (с отношением длины к диаметру, большим 12) производится с применением люнетов. Люнеты бывают неподвижные и подвижные. Неподвижный люнет устанавливается на станине станка, подвижный – на каретке станка. Подвижный люнет следует непосредственно за резцом, при этом обрабатываемая поверхность опирается на кулачки люнета. Расположение кулачков люнета впереди резца применяется в том случае, когда требуется обеспечить соосность обрабатываемой поверхности с другой, ранее обточенной, которая и опирается на кулачки люнета, расположенные впереди резца. При скоростном резании кулачки создают значительное трение и для уменьшения трения их заменяют вращающимися роликами.

Обтачивание валов и других деталей (тел вращения) обычно разделяется на две операции: черновое (предварительное) и чистовое (окончательное) обтачивание. При черновом обтачивании снимают большую часть припуска; обработка производится с большой глубиной резания и большой подачей. При обработке большого количества деталей (в серийном и массовом производстве) черновое обтачивание производится на самостоятельном станке, более мощном, чем станок для чистового обтачивания.

Черновое (предварительное) обтачивание вала, имеющего несколько ступеней и изготовленного из проката, можно выполнять по различным схемам обработки. На рис. 3.1 представлены три схемы обтачивания ступенчатого вала (цифрами обозначены порядковые номера переходов, буквами – ступени вала).

При обтачивании по схеме *a* каждую ступень вала обтачивают, начиная с торца, и таким образом всю обработку вала производят за три прохода: за 1-й проход обтачивают ступени *A*, *B* и *B*, за 2-й проход – ступени *A* и *B* и за 3-й проход – ступень *A*.

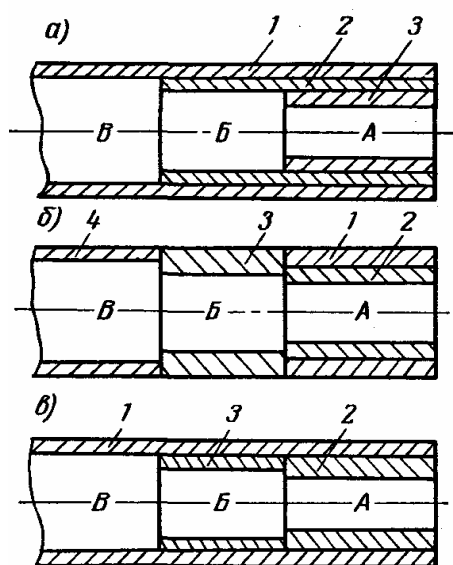


Рис. 3.1. Три схемы обтачивания ступенчатого вала

При обтачивании по схеме б каждую ступень вала обтачивают отдельно: ступень А вследствие большой глубины резания обтачивается за два прохода (1-й и 2-й); ступень В – за один проход (3-й) и ступень В – за один проход (4-й).

Комбинированная схема обработки в предусматривает обтачивание ступени В за 1-й проход, начиная с торца, ступень А обтачивается за 2-й проход и ступень В – за 3-й проход.

На выбор той или иной схемы влияют величина припусков на отдельных ступенях вала и соотношение размеров ступеней: диаметра и длины. Схема, обеспечивающая наименьшее время обработки, наиболее выгодна.

При чистовом обтачивании порядок обработки ступеней вала зависит также от заданных баз, допускаемой величины погрешностей в размерах отдельных ступеней и методов измерения длин. При обтачивании вала со значительной разницей в диаметрах первой (более толстой) стороны и концевой (более тонкой) следует стремиться как можно меньше ослаблять вал при обработке, т. е. начинать обтачивание со ступени наибольшего диаметра, ступень наименьшего диаметра часто бывает целесообразно обрабатывать последней. Во всех случаях обработки на токарных станках необходимо обращать внимание на прочное закрепление детали и резца.

При обработке деталей в центрах и патронах выступающие части хомутика и кулачки патрона необходимо снабжать предохранительными откидными ограждениями или кожухами.

3.2. Обработка на токарных многорезцовых станках и станках с копировальными устройствами

Принцип концентрации операций при токарной обработке осуществляется при обтачивании одновременно нескольких поверхностей вращения несколькими инструментами – резцами на многорезцовых станках. Такие станки-полуавтоматы широко применяются в серийном и массовом производстве. Обычно на многорезцовых станках имеются два суппорта – передний и задний. Передний суппорт, имеющий продольное (а также и поперечное) движение, служит большей частью для продольного обтачивания заготовок – валов или других деталей (тел вращения). Задний суппорт, имеющий только поперечное движение, предназначен для подрезания тор-

цов, прорезания канавок, фасонного обтачивания. Многоместные суппорты могут быть оснащены большим количеством резцов, доходящим до 20. Многорезцовые станки с большим расстоянием между центрами имеют два передних и два задних суппорта. Движение суппортов автоматизировано; закончив обработку, суппорты возвращаются в исходное положение автоматически. Останавливается станок также автоматически, рабочий только устанавливает и снимает заготовки и пускает станок.

На многорезцовых станках детали обрабатывают в центрах, на оправках или в патронах, при этом в результате сокращения основного и вспомогательного времени достигается значительное снижение трудоемкости обработки.

В настоящее время имеются токарные многорезцовые полуавтоматы моделей 1721 и 1731, позволяющие обрабатывать детали соответственно диаметром 200 и 320 мм (при установке обрабатываемых деталей над станиной соответственно 490 и 585 мм), длиной 828 и 870 мм, и ряд других моделей.

На рис. 3.2 изображены схемы обтачивания вала на одностороннем (рис. 3.2, а) и многорезцовом (рис. 3.2, б) токарных станках. В первом случае длина пути суппорта с резцом равна l , во втором – резцы двигаются одновременно, каждый на своем участке, и длина пути суппорта и каждого резца равна $\frac{l}{3}$, так как на суппорте установлено 3 резца.

Основное время в первом случае $t_{O1} = \frac{l}{Sn}$; во втором случае $t_{O2} = \frac{l}{3Sn}$, где l – длина обрабатываемой поверхности в мм; n – число оборотов шпинделя в мин; s – подача в мм/об.

Еще большая экономия времени получается при обработке на многорезцовых станках ступенчатых валов, так как одновременно с обтачиванием всех ступеней производится их подрезание или протачивание канавок с помощью заднего суппорта.

Настройка резцов производится так, чтобы обработка всех участков вала заканчивалась одновременно. На рис. 3.2, в резцы 1 и 2 обрабатывают ступень вала А, резец 3 – ступень В; резцы 4 и 5 протачивают канавки; все резцы заканчивают обработку одновременно. В этом случае основное время уменьшается по сравнению с работой на универсальном токарном станке благодаря сокращению длины пути резцов и их одновременной работе; вспомогательное время сокращается вследствие того, что исключается необходимость смены резцов, поворотов резцедержателя и добавочных перемещений суппорта. Основное время подсчитывается по резцу, который обтачивает наиболее длинную поверхность.

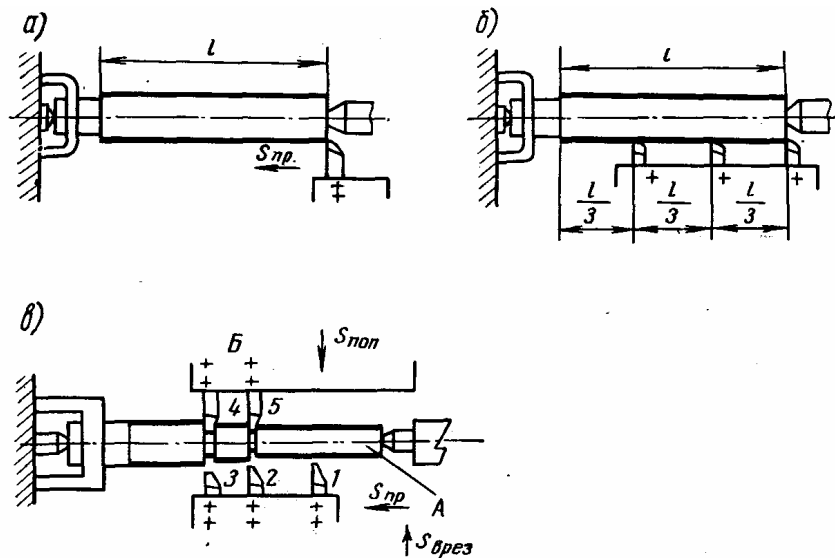


Рис. 3.2. Схемы обтачивания вала

Многорезцовое обтачивание выполняют тремя способами:

1. *Обтачивание с продольной подачей* (рис. 3.3, а). Каждый резец устанавливают на определенный диаметр. По мере продвижения суппорта резцы последовательно вступают в работу. Длины обработки определяют взаимным расположением резцов.

По схеме рис. 3.3, а резец 1 совершает путь, равный сумме длин участков: $l_1 + l_2 + l_3 = L$, резец 2 – путь, равный $l_2 + l_3$, и резец 3 – путь, равный l_3 .

2. *Обтачивание с врезанием и последующей продольной подачей* (рис. 3.3, б). Резцы 1, 2, 3, расположенные, как в предыдущем способе, начинают обработку в различных точках, а не с конца вала последовательно один за другим, как в 3.3, а. Вначале суппорт перемещается в поперечном направлении (от копира или линейки), резцы врезаются на определенную глубину, затем суппорт перемещается в продольном направлении. Каждая ступень вала ($l_1; l_2; l_3$) обтачивается одним резцом, вследствие чего суппорт передвигается на длину наиболее длинной ступени l_1 . Этот способ применяется, если весь припуск может быть снят каждым резцом за один проход. Разновидность этого способа показана на рис. 3.3, в; здесь для сокращения длины прохода суппорта длинная ступень l_1 обтачивается двумя и более резцами (в других случаях применяют и более двух резцов). Если длина каждой ступени примерно кратна длине наиболее короткой ступени, то длина пути каждого резца равна длине этой наиболее короткой ступени.

По схеме 3.3, в каждый резец совершает путь, равный длине $l_3 = l_2 = \frac{l_1}{2}$.

3. *Обтачивание поперечной подачей* (рис. 3.3, г). При этом методе каждый резец обтачивает данную ступень путем поперечной подачи ($S_{\text{поп}}$), причем ширина каждого резца соответствует ширине обрабатываемой поверхности.

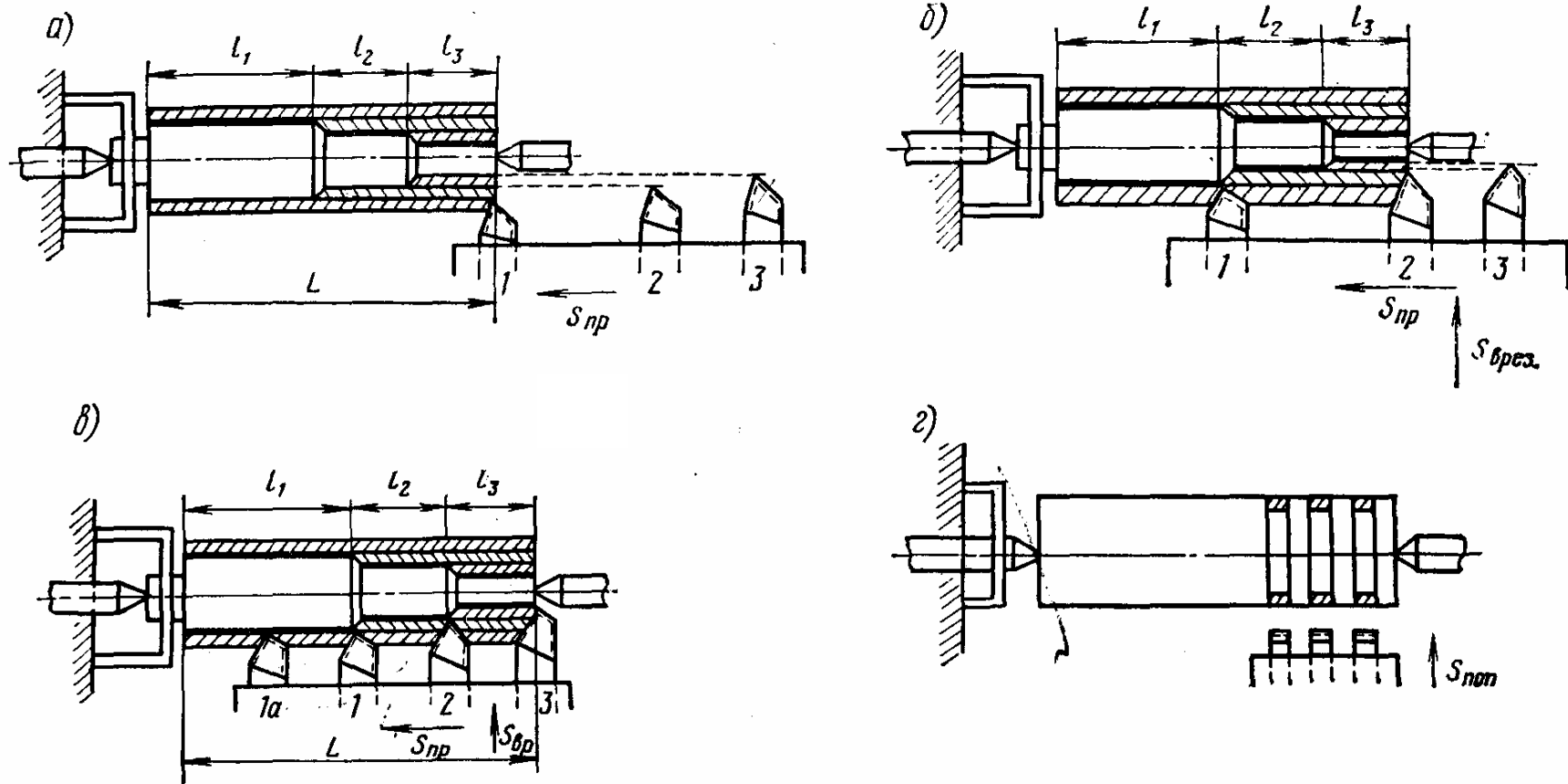


Рис. 3.3. Три способа обтачивания вала на многолезцовом станке

Этот метод имеет ограниченное применение; он может быть использован при обработке коротких цилиндрических, конических и фасонных шеек вала.

На рис. 3.4, *а* изображена схема наладки многолезцового станка для обтачивания заготовки двухвенцового зубчатого колеса.

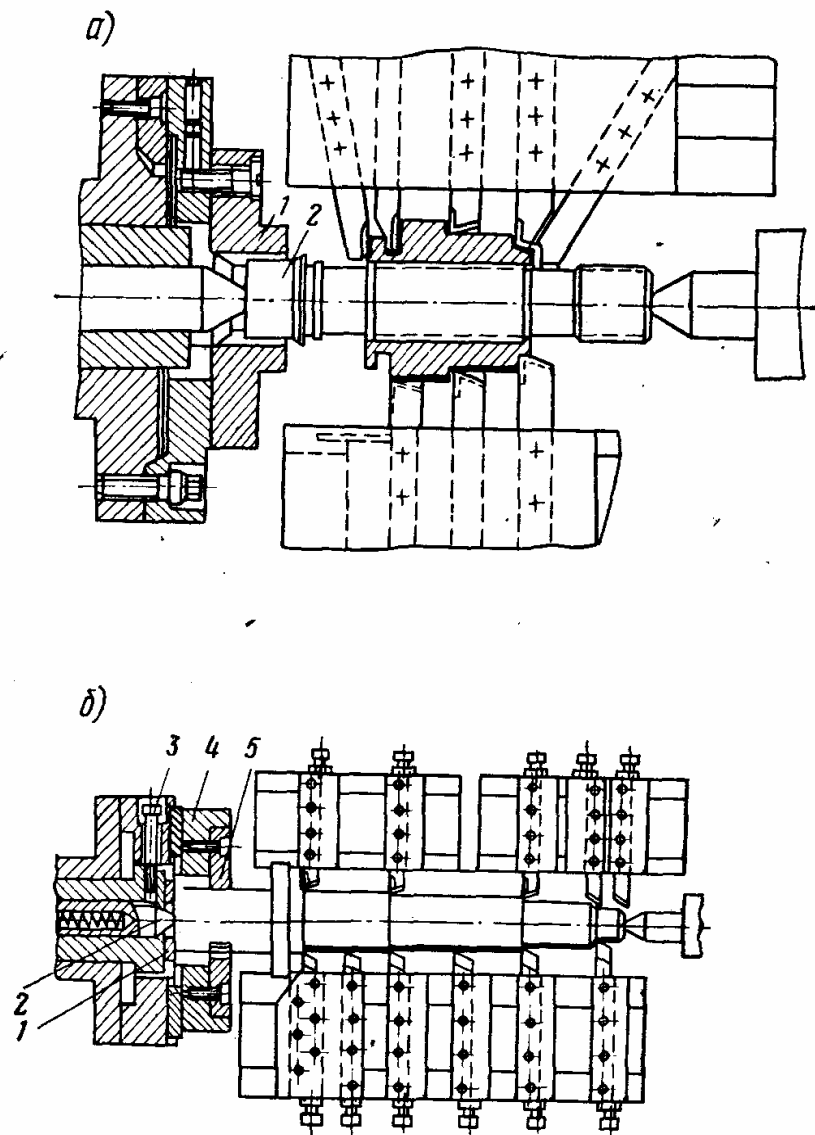


Рис. 3.4. Схемы наладки многолезцового станка для обтачивания:
а – двухвенцового зубчатого колеса; *б* – ступенчатого вала

Заготовка обтачивается на шлицевой оправке, которую предварительно запрессовывают в точно обработанное шлицевое отверстие. Оправка устанавливается в центры и вращается за левый квадратный конец 2 поводковой скобой 1. Резцы устанавливаются по специально обточенной заготовке или по специальному шаблону.

На рис. 3.4, б показана схема обтачивания ступенчатого вала на многолезцовом станке. Неодинаковая глубина центровых отверстий вызывает различное положение заготовки на станке. Но погрешности базирования не будут оказывать значительного влияния при использовании плавающего центра 2, фиксирующего только радиальное положение заготовки, причем положение её вдоль оси определяется тем, что она своим торцом упирается в неподвижный торец 1 приспособления. Центр 2 фиксируется винтом 3. Вращение заготовки осуществляется самозажимным патроном 4 и двумя эксцентриковыми кулачками 5.

Основное время при обработке на многолезцовом станке заготовки цилиндрических зубчатых колес с отверстием (деталей типа дисков) определяется работой заднего (поперечного) суппорта 1 (рис. 3.5), так как путь резцов в направлении поперечной подачи значительно больше пути резцов, закрепленных в переднем суппорте 2, в направлении продольной подачи.

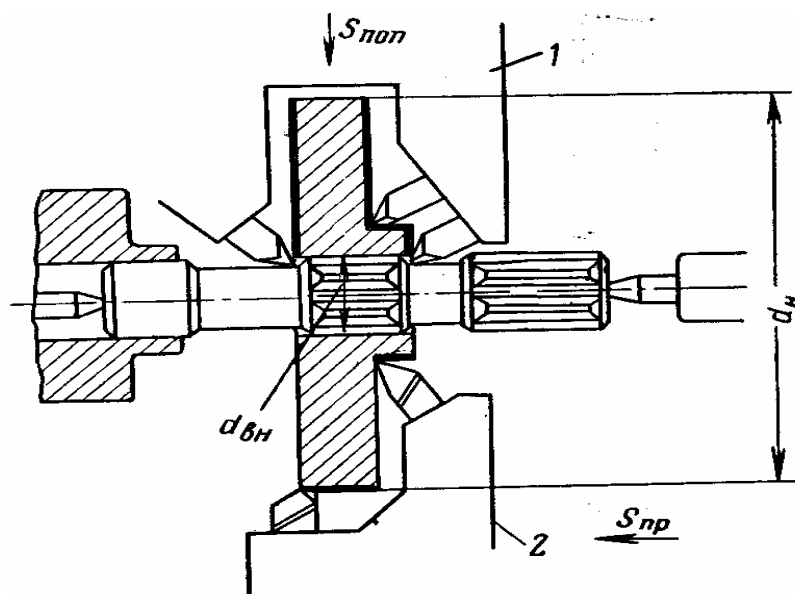


Рис. 3.5. Схема обработки заготовки цилиндрического зубчатого колеса

Обтачивание на токарных станках с копировальными устройствами. В последнее время получило широкое распространение обтачивание ступенчатых валов на токарных станках с копировальными устройствами или на токарно-копировальных станках со следящей системой.

На токарно-винторезном станке моделей 1К62 и 16К20 завода «Красный пролетарий» ступенчатые валики обтачиваются с помощью специального гидравлического суппорта.

Это устройство позволяет обрабатывать методом автоматического копирования по эталонной детали или плоскому копиру различные сту-

пенчатые валики (а также детали фасонного профиля) с подрезанием торцов, расположенных под углом 90° к оси обрабатываемой детали. При этом можно применить более высокие режимы резания, чем при работе с ручным выключением подачи, резко сократить количество измерений, значительно уменьшить вспомогательное время.

Ступенчатые валы обрабатываются на токарных гидрокопировальных полуавтоматах моделей 1712, 1722К, МР-27, МР-29, 1732. Такие станки легко встраивать в автоматические линии; при этом транспортирование заготовок осуществляется сквозное (через отверстие в станине) или сверху. Обтачивают валы обычно одним резцом, расположенным в верхнем, перемещающемся по копиру суппорте. Подрезные, или канавочные, резцы располагаются в нижнем суппорте.

Станок настраивают на размер только по одной шейке вала, так как получение остальных размеров обеспечивается копиром и следящей системой станка.

На многорезцовых станках ступенчатые валы обтачивают резцами из быстрорежущей стали со скоростью резания 30 – 50 м/мин, а на гидрокопировальных – резцами, оснащенными пластинами твердых сплавов, со скоростью резания 100 – 200 м/мин.

Гидрокопировальные станки благодаря значительной жесткости конструкции обеспечивают большую точность и более высокий класс чистоты обработки, чем универсальные станки со специальными гидрокопировальными суппортами.

Многорезцовые и токарно-копировальные станки могут быть оснащены автоматическими загрузочными устройствами и встроены в автоматические линии.

Обтачивать валы на гидрокопировальных станках можно за 1, 2, 3 и 4 прохода. Каждый проход осуществляется по отдельному копиру. После каждого прохода суппорт с резцом перемещается в первоначальное положение, а барабан, на котором установлены все копиры, автоматически поворачивается в соответствующее положение.

Применение двухскоростного электродвигателя в приводе главного движения позволяет автоматически изменять скорость вращения шпинделя при одновременном изменении величины подачи копировального суппорта. Предусмотрена возможность прохода копировальным суппортом необрабатываемых участков детали на ускоренном ходу. Применение инерци-

онного самодействующего патрона дает возможность автоматически зажимать деталь при вращении шпинделя и разжимать при его остановке.

Многие детали типа ступенчатых валов можно обрабатывать на горизонтальном одношпиндельном многорезцовом токарном полуавтомате и гидрокопировальном токарном полуавтомате. Выбор технологического варианта выполнения операции обтачивания затруднителен, так как у каждого из вариантов есть преимущества и недостатки, вытекающие из ряда производственных факторов: вид производства, конструкция и особенности заготовки, требуемые точность и класс шероховатости обработанной поверхности, производительность, себестоимость обработки и пр.

При обработке на многорезцовом токарном полуавтомате, когда одновременно работают несколько резцов, основное (машинное) время меньше, чем при обработке одним резцом на гидрокопировальном токарном полуавтомате. Это различие особенно эффективно проявляется при многорезцовом обтачивании по методу деления длины обработки, когда каждая ступень вала обрабатывается за один проход. В этом случае основное время определяется по длине пути того резца, который обрабатывает наиболее длинную ступень вала.

Если для изготовления ступенчатого вала в качестве заготовки используется прокат, многорезцовое обтачивание ведется по методу деления припуска, так как на ступенях с меньшим диаметром припуск не может быть снят за один проход; впереди расположенные резцы проходят несколько смежных ступеней. Основное время в этом случае определяется суммарной длиной всех обрабатываемых ступеней вала.

Если в отношении основного времени многорезцовое обтачивание имеет преимущество по сравнению с обтачиванием на гидрокопировальных полуавтоматах, то в отношении штучно-калькуляционного времени это не всегда бывает так. Происходит это потому, что подготовительно-заключительное время и время на техническое и организационное обслуживание на многорезцовых станках достигает значительных размеров. Наладка таких станков с большим количеством обрабатывающих резцов (более 10) вызывает такую затрату времени, что применение многорезцового обтачивания становится нецелесообразным.

Следует также иметь в виду, что количество одновременно работающих резцов ограничивается жесткостью обрабатываемой детали, мощностью станка, конструкцией резцедержателей. Валы нежесткой конструкции нельзя обрабатывать одновременно многими резцами.

3.3. Виды и методы чистовой отделочной обработки наружных цилиндрических поверхностей

Для получения точной и чистой, окончательно отделанной наружной цилиндрической поверхности применяются в зависимости от предъявляемых требований и характера детали различные виды чистовой отделочной обработки.

К числу их относятся: тонкое (алмазное) точение, шлифование (в центрах, бесцентровое, абразивной лентой), притирка (доводка), механическая доводка абразивными колеблющимися брусками (суперфиниш), полирование, обкатывание роликами, обдувка дробью и др.

Тонкое (алмазное) точение.

Тонкое (алмазное) точение применяется главным образом для отделочной обработки деталей из цветных металлов и сплавов (бронзы, латуни, алюминиевых сплавов и т. п.) и отчасти для деталей из чугуна и стали. Объясняется это тем, что шлифование цветных металлов значительно труднее, чем стали и чугуна, вследствие быстрого засаливания шлифовального круга. Кроме того, обработка алмазными резцами стальных и чугунных деталей пока еще значительно менее эффективна, чем деталей из цветных металлов и сплавов.

При тонком точении обработка производится алмазными резцами или резцами, оснащенными твердыми сплавами, последние в ряде случаев заменяют алмазные резцы. Метод алмазного точения сохранил свое название и при замене алмазных резцов резцами из твердых сплавов, но с режимами резания примерно такими же, какие применяются для алмазных резцов и характеризуются высокими скоростями резания при малой подаче и малой глубине резания. Скорость резания в зависимости от рода обрабатываемого материала составляет от 100 до 1000 м/мин, а иногда и выше. При обработке алмазными резцами деталей из цветных металлов применяются более высокие скорости; при обработке деталей из чугуна и стали, а также при обработке деталей как из черных, так и из цветных металлов, резцами, оснащенными твердыми сплавами, применяются меньшие скорости. Для точения деталей из бронзы применяется скорость резания 200 – 300 м/мин; для деталей из алюминиевых сплавов – 1000 м/мин и выше при подаче 0,03 – 0,1 мм/об и глубине резания 0,05 – 0,10 мм.

Тонкое точение производится на быстроходных станках с числом оборотов шпинделя в минуту от 1000 до 8000 и в некоторых случаях выше, в связи с чем к станкам предъявляются особые требования в отношении

точности, жесткости, вибрации и устойчивости, а также зазоров шпинделя в подшипниках. При соблюдении этих требований алмазным точением достигается точность обработки 2-го класса и выше и 8 – 10-й классы шероховатости поверхности. Производительность обработки деталей при тонком точении выше, чем при шлифовании. В крупносерийном и массовом производстве для тонкого точения применяются специальные быстроходные станки, в наибольшей степени удовлетворяющие условиям обработки.

Алмазные резцы обычной конструкции состоят из двух основных частей – алмаза и стальной державки. Алмазный кристалл весом от 0,5 до 1,2 карата, обработанный шлифованием (огранкой) для получения требуемых углов режущей части, закрепляют с помощью пайки в стальной державке. В последнее время широко применяют резцы с механическим креплением алмаза в державке.

Алмазный кристалл перетачивают от 6 до 15 раз, он может быть использован при минимальном весе в 0,1 карата.

Стойкость алмазных резцов обычно выше стойкости твердосплавных резцов в десятки раз. Себестоимость обработки деталей алмазными резцами в среднем в 1,5 – 2 раза меньше, чем твердосплавными, и в 3 – 4 раза меньше, чем резцами из быстрорежущей стали.

Шлифование наружных цилиндрических поверхностей.

Для обработки наружных цилиндрических поверхностей применяют следующие виды шлифования:

- а) обдирочное;
- б) точное, которое может быть предварительным и чистовым;
- в) тонкое.

Обдирочное шлифование применяется взамен предварительной обработки резанием лезвийным инструментом и здесь не рассматривается.

Наиболее распространенным является обычное точное шлифование, при котором точность обработки наружных цилиндрических поверхностей достигает 2-го класса, а шероховатость поверхности – 7 – 9-го классов.

Тонкое шлифование дает возможность получить более высокую степень точности обработки, соответствующую 1-му классу точности, и более высокое качество поверхности, соответствующее 10 – 11-му классам шероховатости.

Тонкое шлифование осуществляется мягким мелкозернистым шлифовальным кругом при большой скорости его вращения (более 40 м/с) при малой скорости вращения обрабатываемой детали (до 10 м/мин) и малой

глубиной резания (до 5 мкм); шлифование сопровождается усиленным охлаждением.

Шлифование наружных цилиндрических и конических поверхностей называется круглым шлифованием и производится на круглошлифовальных станках. Деталь можно установить в цанге, патроне, в центрах или в специальном приспособлении.

Скорость от 10 – 50 м/мин, скорость круга до 50 м/с. Существуют два вида круглого шлифования:

- шлифование с продольной подачей;
- шлифование с поперечной подачей (способ врезания).

Первый способ заключается в том, что в процессе шлифования обрабатываемая деталь (рис. 3.6, а) совершает продольные движения попеременно в обе стороны; поперечная подача шлифовального круга производится по окончании каждого продольного движения (хода).

При предварительном шлифовании продольная подача обычно составляет 0,5 – 0,8 высоты круга на один оборот детали, при окончательном – 0,2 – 0,5 высоты круга; глубина резания – 0,005 – 0,02 мм на каждый проход. Этот способ является наиболее распространенным при шлифовании валов.

Второй способ – шлифование с поперечной подачей ($S_{\text{пол}}$) или способ врезания (рис. 3.6, б). При этом способе шлифование производится широким кругом сразу по всей длине шлифуемой поверхности детали. Шлифовальному кругу сообщается поперечная подача по направлению к центральной линии детали. Высота круга выбирается несколько большей, чем длина шлифуемой поверхности детали. Этот способ наиболее производителен и широко применяется в массовом и крупносерийном производстве. Он позволяет, пользуясь фасонным кругом, получить соответствующую форме круга поверхность детали.

В настоящее время стали применять круглошлифовальные станки с двумя, тремя и более шлифовальными кругами.

При необходимости шлифования уступа и прилегающей узкой шейки ступенчатого вала применяют станки с поворотной шлифовальной бабкой (рис. 3.6, в).

При измерении диаметра шлифуемой шейки вала предельной скобой приходится останавливать станок, что связано со значительной затратой времени. В современной практике широко применяют специальные контрольные устройства, измеряющие диаметр обрабатываемой поверхности в процессе шлифования.

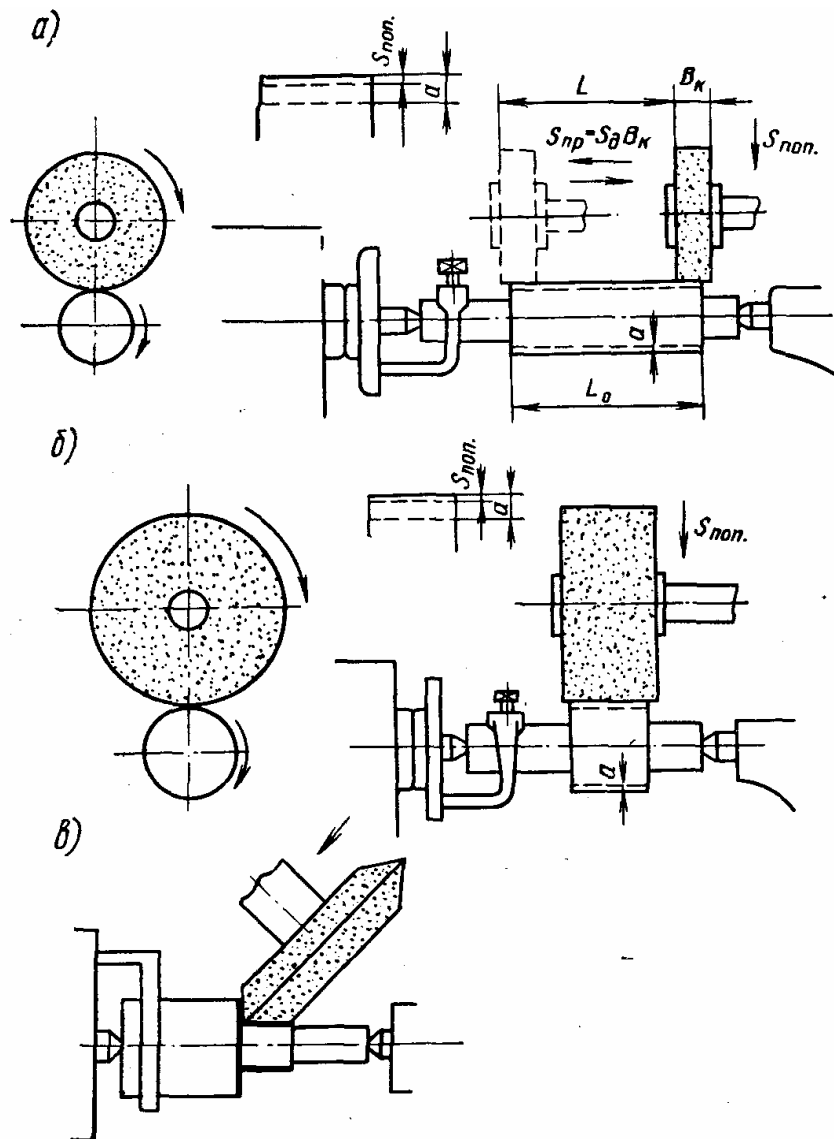


Рис. 3.6. Схемы круглого шлифования:
 а – с продольной подачей; б – с поперечной подачей;
 в – шлифование уступа и шейки вала

Такие устройства бывают следующих видов: 1) механические (с индикатором); 2) электроконтактные; 3) электроиндуктивные; 4) пневматические; 5) электропневматические; 6) фотоэлектрические и др. Наибольшее распространение имеют механические (с индикатором) и электроконтактные устройства.

К механическим устройствам относятся главным образом трехконтактные индикаторные скобы, предназначенные для визуального контроля.

Электроконтактные и другие устройства автоматически выключают станок при достижении заданного размера обрабатываемой поверхности, что предупреждает появление брака.

Бесцентровое шлифование. При бесцентровом шлифовании деталь 2 не закрепляется в центрах, как на круглошлифовальных станках, а свободно (без крепления) помещается между двумя шлифовальными кругами (рис. 3.7, а), из которых круг 1 – большего диаметра – является шлифующим, а круг 3 – меньшего диаметра – ведущим кругом, который вращает деталь и сообщает ей продольную подачу. Шлифующий круг вращается с окружной скоростью 30 – 35 м/с, ведущий круг имеет скорость 20 – 30 м/мин. Обрабатываемая деталь поддерживается опорой со скосом, имеющим форму ножа. Благодаря скосу, направленному в сторону ведущего круга, деталь прижимается к этому кругу.

Опора устанавливается таким образом, чтобы центровая ось обрабатываемой детали находилась выше линии центров круга (на половину диаметра детали, но не более 15 мм). Если центровая ось детали будет лежать на прямой линии, соединяющей центры шлифующего и ведущего круга, то деталь может получиться не цилиндрической формы, а с огранкой.

На бесцентрово-шлифовальных станках можно шлифовать детали, имеющие форму тела вращения с цилиндрическими, коническими и фасонными поверхностями. Бесцентровое шлифование может производиться двумя способами. Выбор того или другого способа зависит от формы обрабатываемой детали.

1-й способ – продольной подачи (сквозное шлифование «на проход» – рис. 3.7, а, б);

2-й способ – поперечной подачи (врезания – рис. 3.7, в).

Шлифование способом продольной подачи применяют для шлифования валов, втулок, поршневых пальцев, поршней и других деталей цилиндрической формы (без буртиков); шлифуемая деталь поступает с одной стороны станка, а выходит – с другой.

Для осуществления этого движения (сквозной подачи) ведущий круг устанавливается под углом наклона $\alpha = 1 - 5^\circ$ к оси шлифующего круга. С изменением угла наклона ведущего круга изменяется величина подачи – чем больше угол, тем величина подачи больше, а шероховатость меньше.

Шлифование способом поперечной подачи (способ врезания) осуществляется поперечной подачей ведущего круга по направлению к шлифующему кругу. Перед этим деталь укладывается на опору сверху и сбоку. По окончании шлифования детали, когда достигнут необходимый размер, ведущий круг отводится, деталь снимается и закладывается новая.

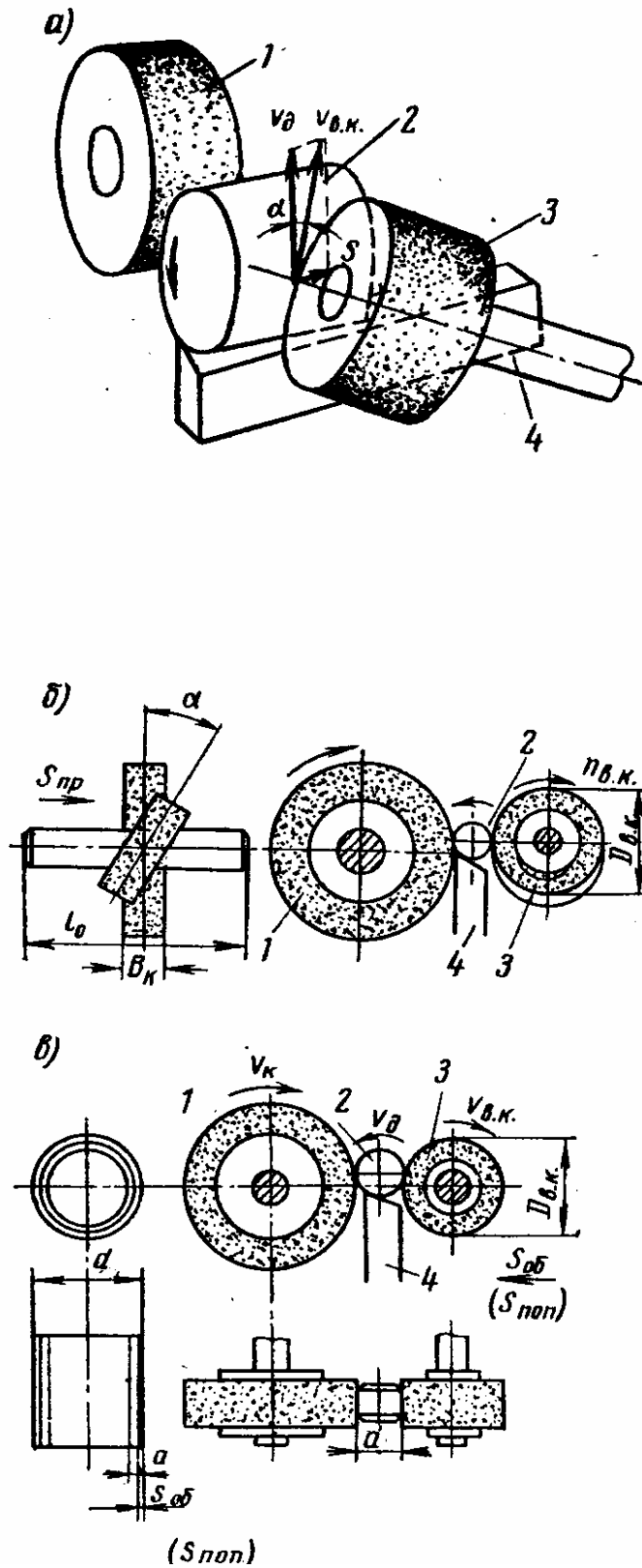


Рис. 3.7. Схемы бесцентрового шлифования:
a – общая схема; *б* – с продольной подачей; *в* – с поперечной подачей; 1 – шлифовальный круг; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – ведущий круг; 4 – опора (нож)

При этом способе оси ведущего и шлифующего круга параллельны. Подача ведущего круга принимается от 0,003 до 0,01 мм на один оборот детали. Этот способ шлифования применяется при обработке деталей с буртиком или имеющих форму конуса. Для шлифования конусных деталей ведущий круг заправляется на конус, при этом опору (нож) устанавливают наклонно (под углом).

Шлифование абразивной лентой

Осуществляется при свободном натяжении ленты либо с натяжным роликом. Применяется для шлифовки цельных и прерывистых поверхностей.

Способы:

- свободной лентой;
- контактное шлифование;
- бесцентровое ленточное шлифование.

Применяются шкурки на бумажной основе (сухое шлифование) и на тканевой основе.

Основные преимущества обработки абразивными лентами по сравнению с обработкой абразивными кругами заключаются в следующем:

- 1) станки для ленточного шлифования в несколько раз дешевле и занимают меньше площади, чем круглошлифовальные станки;
- 2) обслуживание станков для ленточного шлифования проще, и работа на них безопаснее. Смена абразивной ленты производится в течение 2 – 3 мин;
- 3) при шлифовании абразивным кругом диаметр круга по мере его изнашивания уменьшается, вследствие чего скорость и эффективность обработки снижаются. При работе абразивной лентой скорость ее перемещения и радиус кривизны во время обработки сохраняются постоянными.

К недостаткам обработки абразивными лентами следует отнести:

- 1) затруднительность достижения высокой точности обработки;
- 2) трудность шлифования уступов;
- 3) сложность механизации и автоматизации данного метода обработки.

Притирка (доводка)

Притирка служит для окончательной отделки предварительно отшлифованных поверхностей деталей. Притирка наружных цилиндрических поверхностей выполняется притиром, изготовляемым из чугуна, бронзы или меди, который обычно предварительно шаржируется абразивным микропорошком (величина зерна от 3 до 20 мкм) с маслом или специальной пастой (под шаржированием, как уже упоминалось, понимают внедрение в поверхность притира абразивных частиц). Для изготовления абразивного порошка используют корунд, окись хрома, окись железа и др.

Пасты состоят из абразивных порошков и химически активных веществ. Они имеют различный состав. Например, применяется паста из воска и парафина, смешанных с маслом и керосином. Пасты ГОИ (Государственного оптического института) содержат в качестве абразива окись хрома и в качестве связки – олеиновую и стеариновую кислоты. Применяют и нешаржированные притиры.

Пасты ускоряют процесс притирки, так как входящие в них химически активные вещества окисляют обрабатываемую поверхность, и образующаяся мягкая пленка удаляется абразивными зернами.

В единичном производстве и ремонтных мастерских притирку наружных цилиндрических поверхностей деталей, например, шеек валов, производят на обычном токарном станке притиром в виде чугуновой, медной, бронзовой (или свинцовой) втулки, выточенной по размеру притираемой детали. С одной стороны эта втулка разрезана. Втулку смазывают доводочной пастой или ровным тонким слоем мелкого корундового порошка с машинным маслом. Затем втулку вставляют в металлический жимок и надевают на обрабатываемую деталь. Слегка подтягивая жимок болтом, равномерно вручную водят притир вдоль вращающейся детали. При доводке полезно смазывать деталь жидким машинным маслом или керосином.

Припуск на доводку оставляют около 5 – 20 мкм на диаметр. Скорость вращения детали при доводке 10 – 20 м/мин. В крупносерийном и массовом производстве притирка ведется на специальных притирочных станках, которые применяются главным образом для притирки коротких цилиндрических деталей, например, поршневых пальцев.

В этом случае притирка осуществляется между двумя чугуновыми или (реже) абразивными дисками, расположенными эксцентрично по отношению друг к другу, что создает при вращении обоих дисков или только нижнего движения качения и скольжения, благодаря чему притирка происходит по кривой. Детали вставляются в специальную обойму, находящуюся между дисками. При чугуновых дисках притирка производится с применением масла с абразивным порошком, при абразивных дисках применяется только охлаждение.

Притиркой достигаются высокая точность размеров (1-й класс, а иногда и точнее) и высокий класс шероховатости поверхности (12 – 14-й).

Механическая доводка абразивными колеблющимися брусками (суперфиниш)

Суперфиниш представляет собой метод особо чистой доводки поверхностей: плоских, круглых, выпуклых, вогнутых внутренних, наружных

и пр. Суперфиниш предусматривает обработку поверхностей головкой с абразивными колеблющимися брусками, причем осуществляются три, а иногда и более движений: помимо вращения детали и продольного передвижения брусков последние совершают и колебательное движение. Главным рабочим движением является колебательное движение головки с абразивными брусками, направленное вдоль их оси; при этом ход брусков составляет 2 – 6 мм, а число двойных ходов (колебаний) в минуту – 200 – 1000. Идея суперфиниша основана на так называемом принципе «неповторяющегося следа», заключающемся в том, что каждое отдельное зерно абразива не проходит дважды по одному и тому же пути. Число двойных колебаний брусков должно находиться в определенном соотношении с числом оборотов обрабатываемой детали. Скорость резания при суперфинише весьма низкая – от 1 до 2,5 м/мин.

Удельное давление абразивных брусков на обрабатываемую поверхность при суперфинише очень мало – в пределах 0,0049 – 0,245 Мн/м². Меньшие значения – при окончательном суперфинише, большие – при предварительном. Вследствие этого поверхность при обработке не нагревается и высота гребешков получается меньше, чем при хонингпроцессе, не превышая 0,15 – 0,20 мкм. Зернистость брусков выбирается 8 – 3 и мельче.

Охлаждение при суперфинише имеет большое значение для получения чистой поверхности. Здесь особенно важна смазывающая способность охлаждающей жидкости. Обычно применяется керосин с маслом.

Одна из задач суперфиниша – удалить, насколько возможно, риски, оставшиеся на поверхности от предыдущей механической обработки. Шероховатость поверхности, обработанной методом суперфиниша, достигает 14-го класса.

При суперфинише подача брусков на один оборот детали не является постоянной величиной, поэтому основное (технологическое) время устанавливается на основании хронометража. Толщина снимаемого слоя металла 0,005 – 0,020 мм; продолжительность обработки обычно лежит в пределах 0,2 – 0,5 мин.

При обработке шеек коленчатого вала методом суперфиниша абразивные бруски, укрепленные в головке, совершают 450 двойных колебаний в минуту с амплитудой 5 мм. Коленчатый вал совершает 135 оборотов в минуту. Охлаждающая жидкость поступает к брускам непрерывно. Все шатунные и коренные шейки обрабатываются одновременно, примерно за 20 с.

Полирование – это процесс чистовой обработки поверхности мягким кругом с нанесенным на него мелкозернистым абразивным порошком, смешанным со смазкой.

Материалом для полировальных кругов служат войлок, фетр, парусина, кожа. Новым видом абразивного инструмента являются полировальные круги с графитовым наполнителем. Применение этих кругов позволило:

а) получать высококачественную гладкую поверхность деталей 12 – 13-го классов шероховатости;

б) устранять малоэффективные, непроизводительные ручные способы и инструменты полирования;

в) увеличивать производительность труда в 6 – 8 раз.

В состав полировальных кругов входят в основном естественный корунд ЕМ-28, бакелитовая связка и карандашный графит в качестве наполнителя. За короткое время полировальные круги с графитовым наполнителем нашли применение во многих отраслях машиностроения.

С развитием методов полирования вместо полировальных кругов стали применять полировальные абразивные ленты. Эти ленты изготавливаются с тонким слоем абразивных зерен зернистостью 8 – 3. При полировании желобов колец шариковых подшипников ленты иногда заменяются текстильными жгутами, покрытыми абразивными пастами.

Полированием не исправляются погрешности геометрической формы, а также местные дефекты, полученные или оставшиеся от предыдущих операций (вмятины, раковины и др.). Полированием достигается шероховатость поверхности 12 – 13-го класса, но не обеспечивается высокая точность. Полированная поверхность имеет блестящий, зеркальный вид. Полирование ведется при высокой скорости полировального круга или абразивной ленты (до 40 м/с). В массовом и крупносерийном производстве для полирования применяют многошпиндельные полировальные автоматы.

Накатывание

Цилиндрические рукоятки различных измерительных инструментов, рукоятки калибровой головки микрометрических винтов и круглые гайки для удобства пользования делают не гладкими, а рифлеными. Такая рифленая поверхность называется накаткой, а процесс ее получения – накатыванием. Накатка бывает прямой и перекрестной.

Для накатывания в резцедержателе суппорта токарного станка закрепляют державку, в которой устанавливают для простой накатки один, а для перекрестной – два ролика из инструментальной закаленной стали с насе-

ченными на них зубчиками. Эти зубчики имеют различные размеры и различное направление, что позволяет получать накатку различных узоров.

При накатывании державку прижимают к вращающейся детали. Вследствие трения ролики начинают вращаться и, вдавливаясь в материал детали, образуют на ее поверхности накатку. Она может быть крупной, средней или мелкой в зависимости от размеров зубчиков на роликах.

При накатывании подачу производят в двух направлениях – перпендикулярно оси детали и вдоль ее оси. Для получения достаточной глубины накатки нужно вести накатывание в 2 – 3 прохода. Правила накатывания следующие:

1) в начале накатывания следует сразу сильно нажать на державку и проверить, попадают ли зубчики роликов при следующих оборотах в сделанные ими насечки;

2) ролики должны соответствовать требуемому узору детали;

3) двойные ролики должны быть расположены точно один под другим;

4) перед работой нужно тщательно очистить ролики проволочной щеткой от остатков материала;

5) во время накатывания рабочие поверхности роликов следует хорошо смазывать веретенным или машинным маслом.

Выглаживанием называют многочисленные разновидности процесса обработки поверхности давлением, без снятия стружки, путем трения скольжения или качения. В процессе выглаживания происходит в той или иной мере изменение геометрических параметров поверхности и показателей физико-механического состояния поверхностного слоя детали. В связи с этим по технологическому назначению выглаживание бывает: *калибровка* – для повышения точности размера поверхности и уменьшения шероховатости; *отделка* – для достижения упрочнения поверхностного слоя материала.

По получаемой точности поверхности калибровка примерно соответствует шлифованию, но значительно производительнее. Калибровке сопутствует значительное упрочнение поверхностного слоя металла детали.

При выглаживании – отделке (собственно выглаживании) происходит сглаживание неровностей поверхности. Сопутствующее этому упрочнение поверхности распространяется на небольшую глубину, соответствующую сравнительно небольшому давлению инструмента на поверхность детали. Выглаживание – отделку выполняют в условиях трения скольжения. Рабочей поверхности инструмента придают сферическую форму (выглаживание шариком) или цилиндрическую с образующей, перекрываю-

щейся с осью вращения детали (а не параллельной, как при обкатывании роликом).

Хорошие результаты дает выглаживание алмазом (алмазное выглаживание), имеющим незначительный коэффициент трения при скольжении, высокую твердость и износостойкость. Шероховатость поверхности можно сделать весьма малой (до 14-го класса). Его использование позволяет выглаживать поверхности, закаленные на высокую твердость (HRC 60). Рабочей части алмаза придают сферическую форму ($R = 2 - 4$ мм). Применяемые режимы выглаживания: скорость 50 – 150 м/мин, подача 0,05 – 0,1 мм/об.

В настоящее время широко применяется выглаживание обкатыванием шариками или роликами, изготовленными из закаленной стали или твердого сплава. Устройство для обкатывания шариками представляет собой диск, по периферии которого сделаны отверстия, заполненные стальными шариками. Шарик сидит в отверстиях свободно, выступая на 0,5 – 1 мм, но выпасть не может. При вращении диска под действием центробежной силы они наносят удары на обрабатываемую поверхность детали, помещенной в центры или патрон станка. Диску с шариками сообщается движение подачи вдоль оси обрабатываемой детали. Сила удара шариков о поверхность зависит от величины сближения диска с деталью. Выглаживание путем обкатывания роликами заключается в том, что поверхности вращающейся детали обкатывают прижимающимися к ней роликами.

Приспособление для обкатывания роликами сходно с приспособлением для накатывания рифления. Оно отличается от последнего тем, что в державке взамен роликов с насеченными зубчиками устанавливают гладкие закаленные ролики с полированной поверхностью.

Ролики (один, два или три), имеющие движение подачи, давят на обрабатываемую поверхность, уплотняя поверхностный слой металла, благодаря чему поверхность выглаживается и наклепывается, получается чистой и твердой.

Поверхность, подлежащая обкатыванию, предварительно обрабатывается чисто; она должна быть гладкой, в противном случае гребешки микронеровностей при обкатывании вминаются в металл, вследствие чего в дальнейшем при эксплуатации машины не исключена возможность отрыва частиц гребешков от поверхности детали.

При обкатывании поверхности роликов и обрабатываемой детали обильно смазывают веретенным или машинным маслом, смешанным в равных количествах с керосином.

При обкатывании деталей, изготовленных из стали, скорость вращения 140 – 200 м/мин, подача 35 – 40 м/мин; для деталей, изготовленных из чугуна, скорость вращения 75 – 125 м/мин, подача до 20 м/мин.

Обдувка дробью

Сущность процесса обдувки дробью заключается в том, что обрабатываемая поверхность подвергается многочисленным ударам стальной или чугунной дроби, выбрасываемой на обрабатываемую поверхность пневматическим или механическим способом. В результате такой обработки поверхность приобретает наклеп. Пневматические устройства для обдувки дробью работают аналогично пескоструйным аппаратам. В механических устройствах имеется вращающийся с большой скоростью ротор, который выбрасывает дробь на обрабатываемую поверхность.

Все действия процесса обдувки дробью (подача детали, сбор дроби, ее загрузка в бункер и т. д.) в современных дробеструйных аппаратах совершаются автоматически.

Выглаживание и обдувка дробью являются методами обработки давлением в холодном состоянии и относятся к области «упрочняющей» технологии. Эти методы обработки уплотняют поверхностный слой, благодаря чему увеличивается сопротивление детали переменным нагрузкам, а также увеличивается сопротивление износу трущихся поверхностей сопряженных пар [2, 3].

4. ОБРАБОТКА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ (ОТВЕРСТИЙ)

4.1. Виды отверстий и способы их обработки

Обработка отверстий, занимающая в общем объеме механической обработки значительное место, осуществляется при вращательном и поступательном движении инструмента или заготовки.

Отверстия по способам обработки подразделяют на:

1) крепежные отверстия в различных деталях (отверстия для крепежных болтов, винтов, шпилек, заклепок и т. п.). Точность изготовления таких отверстий невысокая (4 – 5-й классы и грубее). Такие отверстия обычно сверлят на одно- или многошпиндельных сверлильных станках;

2) ступенчатые или гладкие отверстия различной конфигурации и точности в деталях, представляющих собой тела вращения. Их обрабатывают сверлом (в ряде случаев с последующим зенкерованием или развертыванием) или резцом совместно с токарной обработкой наружных цилиндрических поверхностей;

3) ответственные отверстия в корпусных деталях, точность обработки которых определяет правильность работы и долговечность узлов машины (например, редуктора) или качество работы всей машины (например, отверстия для шпинделей в корпусных деталях станков и т. п.). Точность изготовления таких отверстий обычно 2-го класса и выше. Обрабатывают такие отверстия на различных станках – универсальных или специального назначения;

4) глубокие отверстия с отношением длины l к диаметру d больше пяти $\left(\frac{l}{d} > 5\right)$, например, отверстия шпинделей станков, пустотелых валов и т. п. Эти отверстия обрабатывают на станках специального назначения;

5) конические и фасонные (с криволинейной образующей) отверстия, которые обрабатывают инструментом с коническими или криволинейными режущими кромками либо растачиванием с копирным приспособлением;

6) профильные (не круглого сечения) отверстия обрабатывают протягиванием, прошиванием и долблением.

В зависимости от назначения отверстий к ним могут предъявляться следующие требования: выдерживание размера отверстия по диаметру с заданной точностью; прямолинейность оси отверстия и образующей его поверхности; правильность цилиндрической формы отверстия (отсутствие

конусности, овальности и огранки); перпендикулярность к торцевым поверхностям детали.

Обработка отверстий круглого сечения производится на сверлильных, расточных, токарных, карусельных, револьверных станках, токарно-револьверных полуавтоматах и автоматах, протяжных и шлифовальных станках.

Обработка точных отверстий всегда требует больших затрат станочного времени и средств на инструмент, чем аналогичная обработка одинаковой по размерам наружной поверхности с той же степенью точности, так как режущий инструмент для обработки отверстий не обладает такой же жесткостью конструкции, особенно конструкции его крепления (расточные оправки – борштанги, длинные расточные резцы и т. п.), как инструмент для обработки наружных цилиндрических поверхностей.

Для достижения точности при обработке отверстий применяют увеличенное число проходов, чтобы таким образом постепенно довести погрешности первоначальной обработки до допустимых размеров. Так, если для обтачивания гладкого вала по 3-му классу точности достаточно два прохода, то для обработки отверстия того же диаметра и с той же точностью понадобится не менее четырех операций или переходов: сверление двумя сверлами, зенкерование и одно- или двукратное развертывание.

При обработке отверстий даже с относительно большим числом переходов в обычных условиях не удастся достигнуть высокой точности по соосности обрабатываемого отверстия и какой-либо наружной цилиндрической поверхности обрабатываемой заготовки. Поэтому, когда требуется обеспечить соосность отверстия с другими поверхностями с высокой степенью точности, необходимо сначала окончательно обработать отверстие, а затем, установив заготовку этим отверстием на точную оправку, обработать окончательно поверхности заготовки.

Отверстия диаметром до 80 мм в сплошном металле сверлят спиральными сверлами на сверлильных станках, а также на различного вида станках токарной группы.

Для сверления отверстий диаметром свыше 80 мм применяют сверлильные головки специальных конструкций, эту операцию, как правило, выполняют на расточных станках.

4.2. Обработка на сверлильных станках

Сверлильные станки подразделяют на универсальные, специализированные и специальные. На универсальных сверлильных станках можно выполнять любые операции по обработке отверстий. К универсальным

станкам относятся: вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные, настольно-сверлильные и др.; к специализированным – сверлильные станки для глубокого сверления. В массовом производстве применяют специальные агрегатные многошпиндельные сверлильные станки, предназначенные для выполнения определенной операции.

Многошпиндельные сверлильные станки подразделяют на две группы (по признаку устройства шпинделей): с нерегулируемыми (постоянными) и с регулируемыми шпинделями. На многошпиндельных сверлильных станках одновременно сверлят несколько отверстий, количество которых может превышать 200.

На рис. 4.1 показан общий вид многошпиндельного вертикально-сверлильного станка. На станине 7 смонтированы все механизмы станка. Привод главного движения осуществляется от электродвигателя 6, который через коробку передач 5 приводит во вращательное движение главный приводной шпиндель 4, от которого движение передается к рабочим шпинделям 2 через соответствующие зубчатые передачи. Многошпиндельная головка 3 перемещается возвратно-поступательно от привода подач, снабженного устройством для быстрых холостых и медленных рабочих ходов. Стол 1 перемещается возвратно-поступательно по направляющим.

Отличительной особенностью шпиндельной головки многошпиндельного станка является то, что шпиндели 2 настраивают по определенному плану обработки заготовки. Их можно располагать в головке симметрично и несимметрично.

Многошпиндельные станки настраивают для определенной операции, и при необходимости перестройки станка для другой операции нужно заново настроить его, применив другую головку, с новой расстановкой шпинделей в ней. Отдельные шпиндели могут быть настроены на разные скорости вращения с одинаковой подачей при одновременной работе шпинделей.

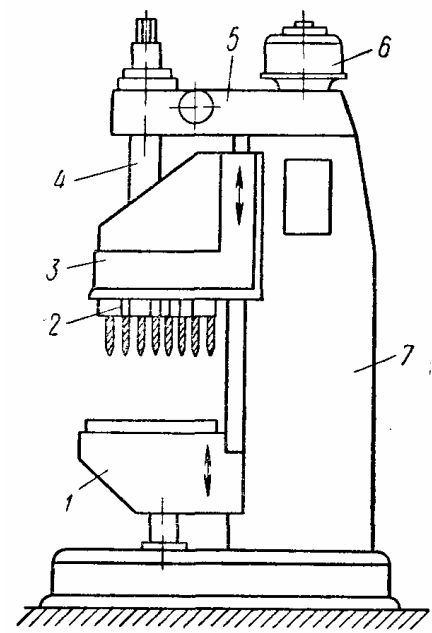


Рис. 4.1. Общий вид многошпиндельного вертикально-сверлильного станка

Многошпиндельные станки с непостоянными расстояниями между шпинделями снабжаются сверлильной головкой, схема которой приведена на рис. 4.2. Шпиндель 4 вместе со сверлильной головкой 3 перемещается по направляющим станины возвратно-поступательно (вверх и вниз) от приводного механизма. От шпинделя 4 вращение передается через зубчатую передачу Z_1 , Z_2 посредством универсального шарнира через телескопическую трубу 2 к рабочим шпинделям 5, которые расположены несоосно с приводным шпинделем. Таким образом, осуществляется передача под некоторым углом между приводом рабочего шпинделя и зубчатой передачей.

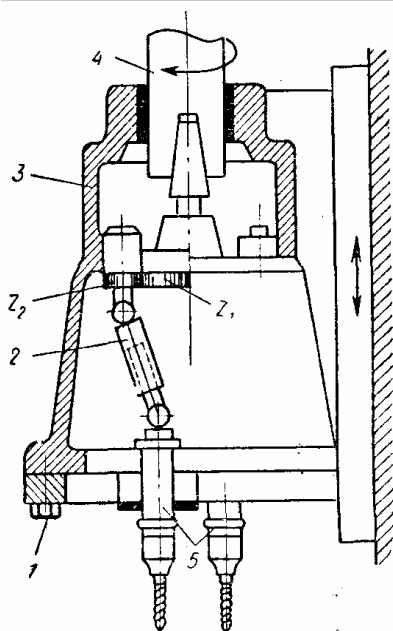


Рис. 4.2. Схема многошпиндельной сверлильной головки с переставными шпинделями

Рабочие шпиндели смонтированы на плите 1, которая имеет пазы, расположенные в различных направлениях, позволяющие перемещать рабочие шпиндели. Следовательно, рабочие шпиндели 5 можно расположить на плите 1 по определенному плану обработки отверстий, а также можно менять наладку для других работ.

При необходимости соблюдения точных межцентровых расстояний между отверстиями применяют кондукторные плиты, которые перед сверлением отверстий подводят к поверхности обрабатываемой заготовки, а затем шпиндели с инструментами направляют для сверления через кондукторные втулки, установленные на плите.

В массовом производстве при обработке заготовок корпусных деталей и др. применяют агрегатные многошпиндельные станки, которые состоят из нормализованных узлов и механизмов. На агрегатных станках производят сверление, развертывание, нарезание резьбы и прочие работы, которые обычно выполняют на сверлильных станках. Агрегатные сверлильные станки во многих случаях встраивают в автоматические станочные линии. Их можно переналаживать в зависимости от условий и требований технологического процесса. На рис. 4.3 приведены отдельные схемы компоновки сверлильных агрегатных станков.

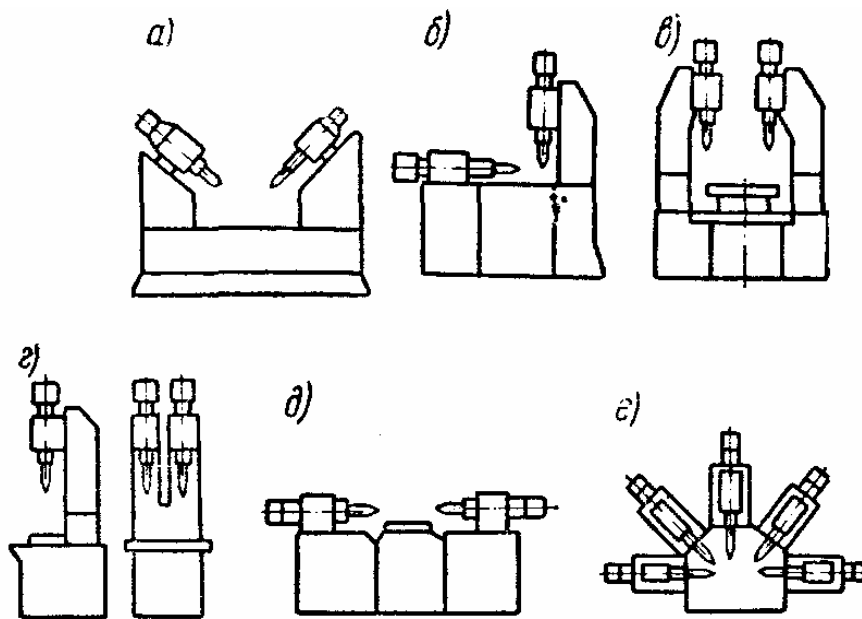


Рис. 4.3. Схемы компоновки сверлильных агрегатных станков:

a – двухшпиндельного станка с наклонным шпинделем; *б* – с горизонтальным и вертикальным расположением шпинделей; *в* – с вертикальным расположением шпинделей; *г* – то же сдвоенного типа; *д* – с горизонтальным расположением шпинделей; *е* – с радиальным расположением шпинделей

Основные виды обработки, которые можно выполнять на сверлильных станках, приведены на рис. 4.4.

Сверление отверстий производится при вращении сверла и его осевой подаче (рис. 4.4, *a*). Инструментом служит обыкновенное спиральное или другой конструкции сверло.

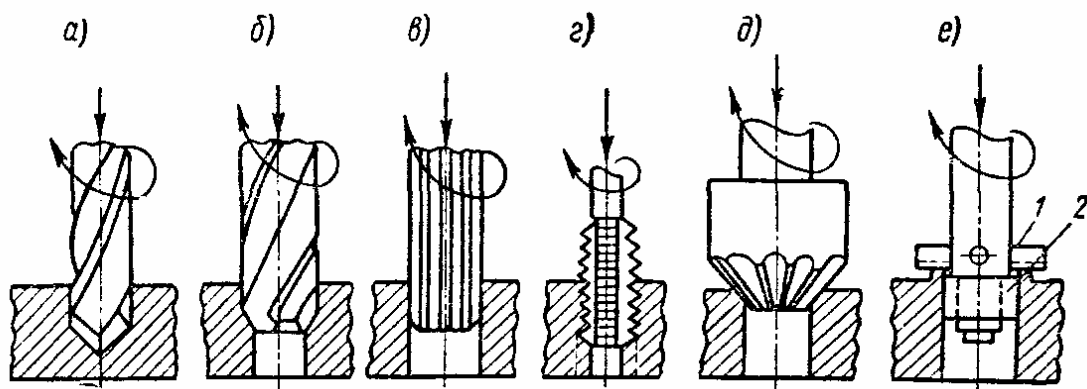


Рис. 4.4. Основные виды обработки на сверлильных станках

На сверлильном станке часто выполняют рассверливание, т. е. вторичную обработку сверлом большего диаметра ранее просверленного от-

верстия, это делают для того, чтобы сохранить межцентровое расстояние при сверлении отверстий больших диаметров, когда обработка одним сверлом большего диаметра может дать значительное отклонение оси сверления. При нормальном сверлении достигается точность отверстия по 4 – 5-му классам.

Зенкерование отверстий (рис. 4.4, б) производится зенкером и служит для улучшения геометрической формы ранее просверленного цилиндрического отверстия. Оно обеспечивает точность обработки отверстия после сверления на один класс выше.

Развертывание отверстий (рис. 4.4, в) выполняют после зенкерования для того, чтобы устранить грубые следы предыдущей обработки; расположение оси отверстия при этой операции не может быть исправлено.

Развертывание производят одно- или многократно. При однократном развертывании достигается точность обработки отверстия по 2 – 3-му классам, а при двух- или трехкратном развертывании можно достигнуть точности по 1 – 2-му классам. Чистота поверхности отверстия при развертывании может быть доведена до 7 – 8 класса.

Нарезание резьбы (рис. 4.4, г) производят после сверления отверстия под размер нарезаемой резьбы метчиками различных конструкций. При этом необходим обратный ход шпинделя (реверсирование) для вывертывания метчика из заготовки после нарезания резьбы. Исключения составляют так называемые «падающие» метчики (выпадающие из гнезда шпинделя) и специальные гаечные метчики, у которых нарезанные гайки перемещаются последовательно на гладкую часть стержня метчика.

Зенкование (рис. 4.4, д) применяют после сверления отверстия для снятия фаски, например, под потайную головку винта.

Цекование (рис. 4.4, е) предусмотрено для подрезки торца бобышки заготовки или для получения ступенчатого отверстия. Эту операцию выполняют специальным инструментом – цековкой, которая имеет переставной резец 1, устанавливаемый по размеру диаметра обрабатываемой поверхности, и направляющую часть 2 для обеспечения соосности поверхностей ступенчатого отверстия.

Кроме перечисленных основных работ, на сверлильных станках можно выполнять и другие виды обработки отверстий специальными инструментами, например, фасонные выточки на цилиндрической и торцевой поверхностях отверстий. Так, при изготовлении в отверстиях канавок небольших размеров (шириной 0,8 – 1 мм) под пружинные кольца для обеспечения параллельности их сторон применяют шлицевые фрезы. Примене-

ние шлицевых фрез для изготовления канавок имеет ряд преимуществ, а именно: наличие 30 – 40 режущих кромок против одной у резца, доступность для обзора при обработке канавок и точность исполнения размера. Обработку канавок шлицевыми фрезами производят на вертикально-сверлильном станке, снабженном специальным устройством (рис. 4.5).

Шлицевая фреза 9, закрепленная в шпинделе 7 гайкой 6, получает вращение от шпинделя станка через быстросменный патрон 1 с втулкой 4 и универсальный шарнир 3. Подача фрезы на глубину канавки в обрабатываемой заготовке 8 осуществляется вручную смещением оси фрезы относительно оси шпинделя станка. Шпиндель фрезы 7 проходит через бронзовую втулку 12, расположенную эксцентрично в корпусе 5. При вращении маховика 2, а следовательно, и корпуса 5 (втулка 12 фиксируется в корпусе фиксатором 10 и защелкой 11) ось шпинделя 7 смещается. Максимальное смещение шпинделя фрезы относительно шпинделя станка составляет 9,5 мм при повороте маховика на 180°.

Обработка осуществляется в следующем порядке: вначале шпиндель станка подается на необходимую глубину в отверстие, затем станок приводится в движение и фреза подается на необходимую глубину канавки медленным вращением маховика вручную. После окончания обработки канавки шпиндель с фрезой возвращают в исходное положение.

При сверлении глубоких отверстий на обычных сверлильных станках спиральные сверла не могут обеспечить правильного направления и

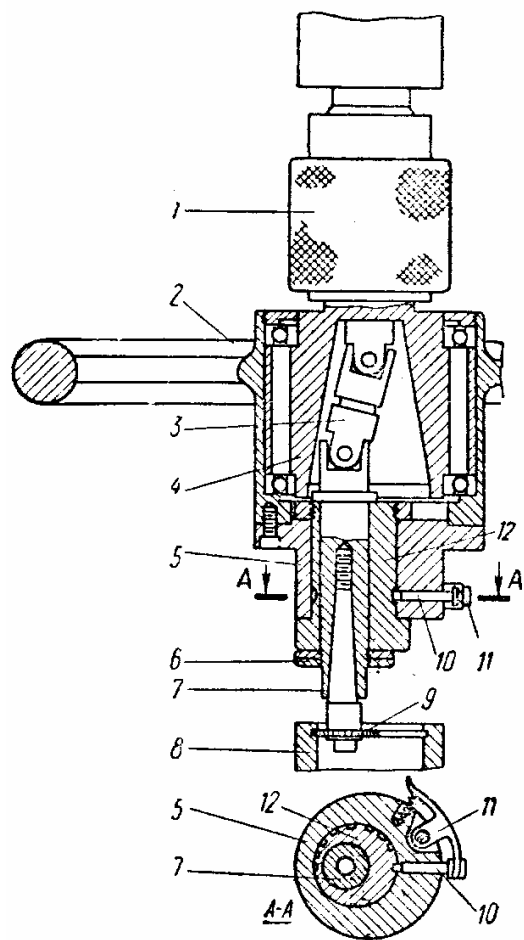


Рис. 4.5. Схема устройства для обработки канавок шлицевой фрезой на сверлильном станке: 1 – быстросменный сверлильный патрон; 2 – маховичок; 3 – универсальный шарнир; 4 – втулка, вставляемая в быстросменный сверлильный патрон; 5 – корпус; 6 – гайка; 7 – шпиндель фрезы; 8 – обрабатываемая деталь; 9 – шлицевая фреза; 10 – фиксатор; 11 – защелка фиксатора; 12 – втулка

прямолинейности оси отверстия. Происходит увод сверла в сторону от направления, заданного осью вращения шпинделя, так как спиральные сверла не в достаточной мере осуществляют прямолинейность направления осевого движения режущих кромок. Прямолинейность оси отверстия в этом случае может быть обеспечена лишь жесткостью сверла и направляющим действием ленточек, расположенных вдоль канавок сверла и скользящих по просверленной части отверстия.

При неодинаковой заточке обеих режущих кромок сверла или же неравномерного их затупления сверло также начинает «уводить» ось отверстия в сторону от оси вращения шпинделя. На увод сверла большое влияние оказывает работа сверла в начальный момент сверления, когда резание производят лишь поперечной кромкой, перпендикулярной к оси сверла. Кроме того, наличие значительных упругих деформаций сверла при работе (продольного изгиба), зазоров в подшипниках шпинделя, неравномерного налипания стружки на главные и вспомогательные режущие кромки сверла создают условия для увода сверла в сторону от оси шпинделя.

Чтобы предотвратить увод сверла или искривление оси отверстия, при глубоком сверлении применяют следующие способы и приемы работы:

1) небольшие подачи, а также тщательную заточку сверла с соблюдением равномерности наклона обеих режущих кромок, наблюдение за износом сверла и налипанием металла на режущие и вспомогательные кромки, надлежащее охлаждение сверла;

2) предварительное засверливание с помощью короткого сверла большого диаметра (с углом $2\phi = 90^\circ$), которое особенно необходимо при сверлении отверстий сверлами небольших диаметров на револьверных станках и автоматах;

3) сверление с направлением спирального сверла с помощью кондукторной втулки при сравнительно небольших отношениях длины отверстия к диаметру;

4) сверление при вращающейся заготовке; в этом случае имеет место как бы самоцентрирование сверла в противоположность обычной его склонности к уводу.

При вращении обрабатываемой заготовки глубокие отверстия можно сверлить как при невращающемся, так и при вращающемся сверле. Вращение инструмента в этом случае используется как средство повышения скорости резания.

Способ сверления отверстий при вращении заготовки применяют как на токарных станках, так и на станках для глубокого сверления (сверление отверстий в стволах орудий, шпинделях станков, полых валах и т. п.).

Конструкции специальных сверл для глубокого сверления предусматривают создание достаточного надежного направления осевого движения режущей части сверла по поверхности уже просверленной части отверстия. Такие сверла делают как с одной, так и с несколькими режущими кромками. Простейшим видом такого сверла является «пушечное» сверло (рис. 4.6, а). У этих сверл имеется только одна режущая кромка и длинная направляющая часть сверла. Соприкосновение направляющей части с поверхностью просверленной части отверстия происходит на дуге, немного большей 180° . Направляющую поверхность рабочей части сверла, соприкасающуюся с поверхностью отверстия, во избежание заедания сверла в отверстии делают с уклоном в направлении от режущей кромки к стержню сверла.

Для правильного направления сверла в начальный момент сверления необходимо предварительно точно расточить отверстие по диаметру рабочей части сверла на глубину не менее половины диаметра сверления. Пушечные и им подобные сверла можно применять для сверления в сплошном металле и для рассверливания отверстий, предварительно просверленных спиральными сверлами меньших диаметров.

Более совершенным видом сверла для глубокого сверления является «ружейное» сверло (рис. 4.6, б). Направляющая часть этого сверла обеспечивает лучшее направление режущей части, так как охватывает дугу окружности отверстия, равную примерно $250 - 260^\circ$. Рабочую часть таких сверл, так же как и пушечных, делают конической в направлении от режущей кромки к стержню. Для уменьшения трения и улучшения охлаждения сверла вдоль направляющей части его снимают лыски. Режущую кромку у ружейных сверл часто делают в виде ломаной линии для лучшего дробления стружки.

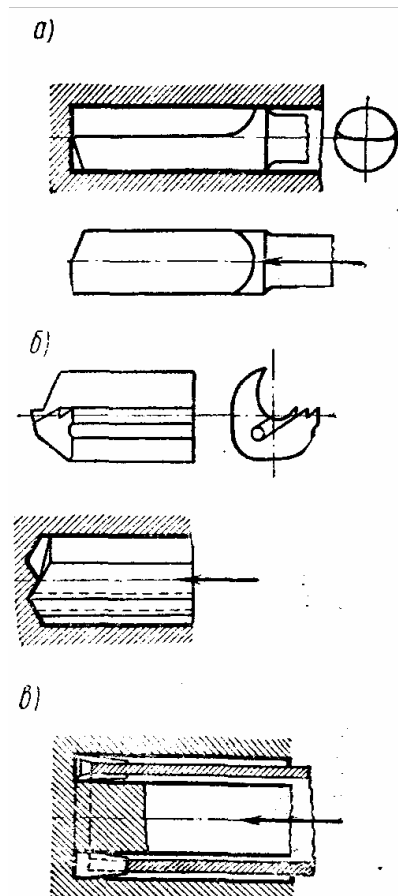


Рис. 4.6. Схемы обработки и виды сверл для глубокого сверления

Охлаждающая жидкость в большинстве конструкций специальных сверл для глубокого сверления поступает в зазор между стержнем и поверхностью отверстия и затем к режущей кромке сверла под сильным давлением. Далее жидкость, захватывая раздробленную стружку, выливается из отверстия через полую центральную часть головки и стержня сверла.

Ружейные сверла могут работать не только по предварительно просверленному отверстию, но и в сплошном металле.

При работе специальными сверлами применяют подачи в пределах 0,02 – 0,05 мм/об в зависимости от диаметра отверстия обрабатываемого материала, требуемой чистоты и точности обрабатываемой поверхности.

Наиболее совершенным видом сверл для глубокого сверления отверстий большого диаметра является пустотелое сверло. При использовании такого сверла в стружку превращается лишь кольцеобразная часть удаляемого металла, внутренняя же часть остается целой и после окончания сверления ее удаляют в виде цилиндрического стержня. Специальные сверла этого вида (рис. 4.6, в) состоят из головки со вставными ножами для вырезания кольцевого паза в сплошном металле и трубы (трубчатого стержня), которая соединяется с головкой сверла с помощью резьбы. Такие виды специальных сверл применяют при обработке на станках для глубокого сверления больших пустотелых валов, длинных шпинделей станков и т. п.

4.3. Обработка на расточных станках

Расточные станки применяют главным образом для обработки в заготовках корпусных деталей отверстий с точно координированными осями (блоки двигателей, коробки передач и т. п.).

Универсально-расточные станки подразделяют на станки для обычных расточных работ и для точных расточных работ; к последним, в частности, относятся координатно-расточные станки, служащие для обработки отверстий с особо точными межцентровыми расстояниями. Они бывают горизонтальные и вертикальные.

На горизонтально-расточных станках можно сверлить и развертывать отверстия, нарезать в них резьбу и фрезеровать плоскости. Такие станки применяют в единичном и мелкосерийном производствах для обработки заготовок корпусных деталей.

Отверстия больших диаметров в различных заготовках в условиях массового производства растачивают на многошпиндельных расточных станках, применяя в качестве инструмента расточные головки.

В единичном и мелкосерийном производствах отверстия обрабатывают по разметке; в средне- и крупносерийном, а также в массовом производствах применяют устройства для координатного растачивания и кондукторы, т. е. специальные приспособления для направления режущих инструментов.

На столе можно установить специальное дополнительное вращающееся приспособление, чтобы получить круговые движения обрабатываемой заготовки, когда необходимо растачивать отверстия под некоторым углом в горизонтальной плоскости с одной установки.

Обрабатываемую заготовку устанавливают или на столе, закрепляя ее обычными крепежными средствами, или в специальном приспособлении, если этого требует технологический процесс изготовления детали.

На рис. 4.7 показаны основные виды работ, выполняемые на горизонтально-расточном станке, с указанием движений основных узлов станка.

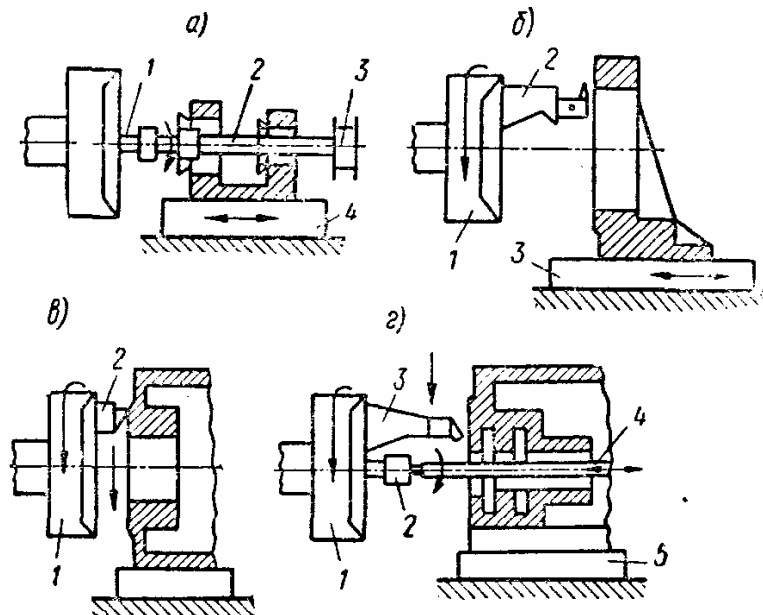


Рис. 4.7. Схемы основных видов работ, выполняемых на горизонтально-расточном станке

На рис. 4.7, а показано одновременное растачивание двух концентрических отверстий резцами, закрепленными на борштанге 2, которую приводит во вращение шпиндель 1 и поддерживает люнет 3 задней стойки. При обработке заготовки стол 4 перемещается параллельно оси шпинделя (продольная подача). Этот способ растачивания с продольной подачей стола применяется в случае, когда расположенные соосно растачиваемые отверстия имеют значительную длину и возможен прогиб борштанги 2.

На рис. 4.7, б показано растачивание отверстия большого диаметра с помощью резца, закрепленного в резцедержателе 2, который укреплен на планшайбе 1. Продольная подача заготовки осуществляется движением стола 3, а радиальная подача резца – радиальным перемещением резцедержателя на планшайбе. Этим способом можно растачивать отверстия большого диаметра, но сравнительно малой длины.

На рис. 4.7, в показана обработка «летучим» суппортом торца заготовки после растачивания отверстия. В данном случае заготовка неподвижна и стол не перемещается. Планшайба 1 вращает резцедержатель 2 с закрепленным резцом, который перемещается радиально, обрабатывая торцевую поверхность заготовки. Эта операция часто встречается при обработке больших несимметричных поверхностей.

На рис. 4.7, г показан пример совместной работы шпинделя 2 и планшайбы 1. Одновременно растачивается отверстие резцом, закрепленным на борштанге 4, и обрабатывается торец заготовки резцом, закрепленным в резцедержателе 3. Заготовка вместе со столом 5 неподвижна.

При координатном растачивании положение осей растачиваемых отверстий задается двумя размерами (координатами), которые отсчитываются от базисных установочных плоскостей детали. Установка оси шпинделя расточного станка на заданные координаты осуществляется с помощью градуированных линеек и нониусов, имеющихся на станке, или с помощью специальных вкладышей, регулируемых по размеру соответствующих координат. Перед растачиванием производится проверка правильности установки детали на столе станка индикатором, закрепленным в шпинделе станка, затем производится установка шпинделя в нулевое положение с помощью ловителя, вставляемого в конце шпинделя станка, с проверкой щупом. После этого можно начать растачивание, предварительно совместив ось шпинделя и ось растачиваемого отверстия. Координатное растачивание повышает точность межцентровых расстояний и их соосность, упрощает обработку и увеличивает производительность.

4.4. Обработка на шлифовальных станках

Внутреннее шлифование применяют главным образом при обработке точных отверстий в закаленных деталях, а также в тех случаях, когда по каким-либо причинам невозможно применять другие, более производительные методы точной обработки отверстий, например, алмазное растачивание, хонингование и др.

Существуют два способа внутреннего шлифования: 1) шлифование отверстия во вращающейся заготовке; 2) шлифование отверстия в неподвижной заготовке. Первый способ применяют при шлифовании отверстий в небольших по размерам заготовках, большей частью представляющих собой тела вращения, например, отверстий в зубчатых колесах, в кольцах шарико- и роликоподшипников, а второй – при шлифовании отверстий в заготовках корпусных деталей, которые неудобно или невозможно закрепить в патроне станка. В первом случае обрабатываемую заготовку закрепляют в патроне и приводят во вращательное движение (аналогично токарной обработке) (рис. 4.8, а). Во втором случае заготовка устанавливается на столе станка, а шпиндель шлифовального круга, помимо вращательного движения, скорость которого соответствует окружной скорости шлифовального круга, имеет и планетарное движение со скоростью, соответствующей скорости вращения заготовки при шлифовании (рис. 4.8, б).

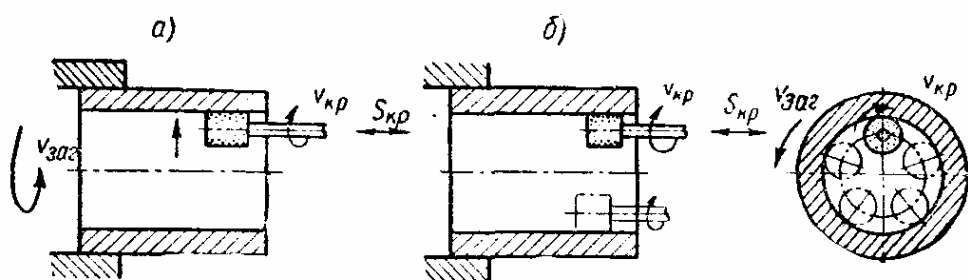


Рис. 4.8. Методы шлифования отверстий:
 а – с вращением обрабатываемой заготовки;
 б – с планетарным движением шлифовального круга

В обоих случаях осуществляется продольная подача шлифовального круга вдоль оси шлифуемого отверстия: в первом случае – движением шпиндельной головки, во втором – движением стола. Наиболее существенное отличие внутреннего шлифования от наружного круглого шлифования заключается в том, что обработка производится кругом малого диаметра. Обычно диаметр круга при внутреннем шлифовании составляет 0,7 – 0,9 диаметра шлифуемой заготовки. В обычных конструкциях шпиндельных головок окружная скорость круга при шлифовании отверстий малого диаметра большей частью не превышает 10 м/с и увеличивается с увеличением размеров головок в соответствии с увеличением диаметров шлифуемых ими отверстий, доходя до 30 м/с при диаметрах отверстий свыше 30 мм. Относительно малая жесткость шпинделя шлифовального круга ограничивает глубину резания (поперечной подачей), составляющей

(в зависимости от диаметра шлифуемого отверстия) при предварительном шлифовании стали и чугуна 0,005 – 0,02 мм и при чистовом шлифовании – 0,002 – 0,01 мм на один двойной ход. Меньшие значения поперечной подачи применяют при диаметрах отверстий, не превышающих 40 мм, и при больших отношениях длины отверстия к его диаметру.

Внутреннее шлифование производят вращением с продольной подачей. Величина продольной подачи составляет, как и при круглом наружном шлифовании, 0,4 – 0,8 ширины круга – при предварительном шлифовании и 0,25 – 0,4 ширины круга – при чистовом, причем меньшие значения применяют при отношении длины отверстия к диаметру, равном

трем. Вследствие малых размеров шлифовальных кругов при внутреннем шлифовании стойкость их естественно меньше, чем при других видах шлифования. Для внутреннего шлифования нужно выбирать более мягкие круги, чем в аналогичных условиях для наружного шлифования, так как при значительной длине дуги контакта круга с обрабатываемой поверхностью возможен более сильный нагрев обрабатываемой заготовки.

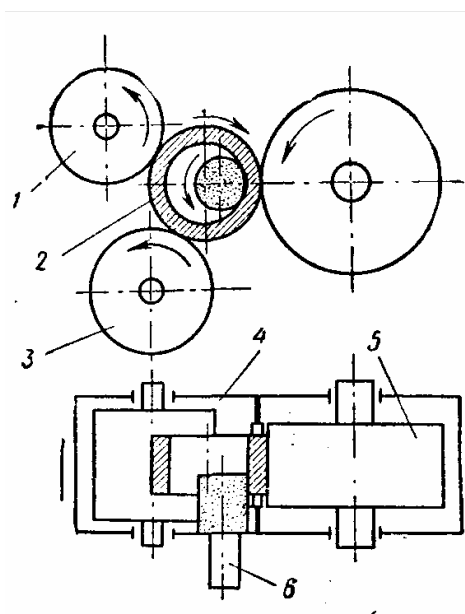


Рис. 4.9. Схема внутреннего бесцентрового шлифования

При внутреннем бесцентровом шлифовании (рис. 4.9) обрабатываемую заготовку 2 устанавливают между поддерживающими роликами 1 и 3 и ведущим роликом 5.

Поддерживающие ролики и ведущий ролик помещены в общем корпусе 4, который перемещается вместе с обрабатываемой заготовкой в сторону шпинделя 6 шлифовального круга. Вращающийся шлифовальный круг осуществляет радиальную подачу на глубину шлифования, одновременно имея возможность перемещаться в продольном направлении относительно обрабатываемой заготовки.

4.5. Обработка на протяжных станках

Протягивание – процесс обработки поверхности специальным инструментом – протяжкой, зубья которой за один ход снимают весь припуск.

На протяжке, кроме основных режущих зубьев, имеются калибрующие, придающие обрабатываемой поверхности требуемые точность и чистоту.

Различают три основных вида протягивания: 1) протягивание по профильной схеме (рис. 4.10, а), осуществляемое протяжками, все зубья которых имеют профиль, подобный профилю (контуру) поперечного сечения обрабатываемой поверхности, различаясь только размерами, причем каждый зуб последовательно снимает слой металла по форме профиля обрабатываемой поверхности; 2) по генераторной схеме (рис. 4.10, б), осуществляемое фигурными протяжками, зубья которых имеют переменный профиль с дугообразной или прямолинейной формой главной режущей кромки, постепенно переходящий к заданному профилю обрабатываемой поверхности; 3) по прогрессивной схеме (рис. 4.10, в), осуществляемое протяжками, у которых все режущие зубья разбиты на группы, обычно по два зуба, причем каждый зуб группы формирует только определенный участок профиля обрабатываемой поверхности. При этом режущие кромки зубьев перекрывают друг друга.

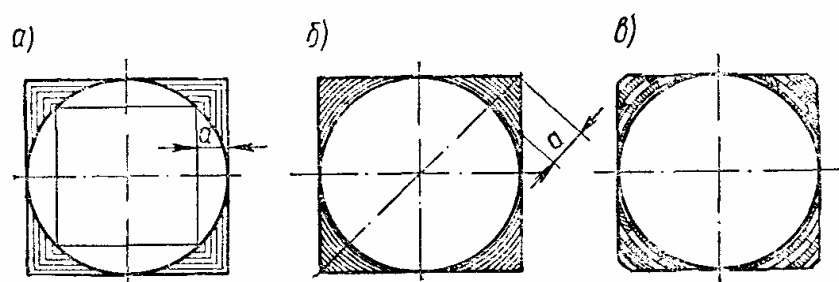


Рис. 4.10. Схемы протягивания

Первая схема применима при протягивании поверхностей со снятием тонкого слоя металла по всей ширине обработки. Обработка по корке при этой схеме не производится. Генераторная схема упрощает изготовление протяжек, так как в этом случае нет необходимости в заточке зуба протяжки по всему фасонному затылку. Прогрессивная схема в основном применяется при протягивании необработанных предварительно поверхностей.

Величины припусков под протягивание при обработке цилиндрических отверстий колеблются от 0,5 до 1,5 мм на диаметр в зависимости от диаметра отверстий. Точность обработки по 4 – 5-му классам. Для глубоких отверстий ($l > 4$) припуск увеличивается на 25 – 50 %. Такие же припуски принимают при протягивании шлицевых, эвольвентных и других аналогичных отверстий, если впадины обрабатывают одновременно с отверстием комбинированной протяжкой.

На рис. 4.11 приведен общий вид наиболее распространенного горизонтально-протяжного станка. На станине 4 установлены основные узлы

станка; в полой ее части размещен со всеми агрегатами и приводом от электродвигателя 1 гидропривод 3, который приводит в движение шток 2. Наружный конец штока покоится на дополнительной опоре, перемещающейся вместе с ползуном 5. Конец штока снабжен зажимным приспособлением 6 для крепления протяжки 8, другой конец которой поддерживается подвижным люнетом 9. Обрабатываемая заготовка 7 при протягивании упирается в торец станины.

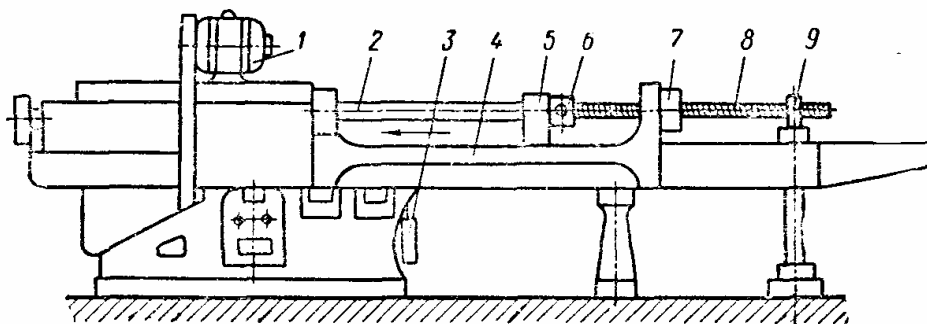


Рис. 4.11. Общий вид горизонтально-протяжного станка

Для перемещения штока с различными скоростями рабочего хода и установки протяжек с различной длиной в гидроприводе предусмотрено устройство для изменения длины и скорости движения ползуна 5.

По конструкции зубьев протяжки бывают режущими и уплотняющими. В первом случае зубья имеют острые режущие кромки, а во втором – округленные, работающие на уплотнение обрабатываемой поверхности.

По профилю протяжки подразделяют на плоские, круглые и фасонные. Различают также сборные протяжки со вставными зубьями и наборные, оснащенные пластинками твердого сплава.

Разность высоты двух смежных зубьев определяет толщину слоя металла, срезаемого каждым зубом протяжки, или величину подъема на зуб, которая зависит от свойств обрабатываемого материала, материала протяжки, жесткости заготовки, формы протягиваемой поверхности и т. д.

Для разделения широкой стружки на поверхности режущей части зубьев прорезаны стружкоразделительные канавки (от 6 до 12).

Число калибрующих зубьев составляет 3 – 8. Чем выше требования к точности обработки, тем больше калибрующих зубьев должна иметь протяжка.

Типы хвостовиков протяжек зависят от применяемого способа крепления протяжки в патроне станка.

Наиболее распространенными являются круглые протяжки с прямыми зубьями (рис. 4.12, а). Их выполняют иногда сборными, в целях экономии быстрорежущей стали.

Для протягивания глубоких отверстий применяют протяжки с винтовыми зубьями (рис. 4.12, б), работающие с поступательным движением вдоль оси.

Уплотняющая протяжка (рис. 4.12, в) не имеет острых режущих кромок, ее зубу придают округленную форму, что обеспечивает выглаживание обрабатываемой поверхности.

Шлицевые протяжки выполняют так же, как и круглые, в зависимости от формы шлица зубья изготавливают с прямым (рис. 4.12, г), угловым (рис. 4.12, д) или елочным (рис. 4.12, е) профилями.

Для протягивания многогранных отверстий применяют квадратные, шестигранные прямоугольные и другого профиля протяжки. Особенностью их конструкций является наличие нескольких ступеней по длине с различными подъемами на зуб.

Для одновременной обработки различных поверхностей шлицевого отверстия применяют комбинированные протяжки, которые предварительно протягивают гладкое отверстие, а затем шлицы. Такие протяжки имеют вначале зубья круглой формы, за которыми расположены зубья, соответствующие форме шлица.

Шпоночные протяжки предназначены для протягивания в отверстиях шпоночных канавок различных форм.

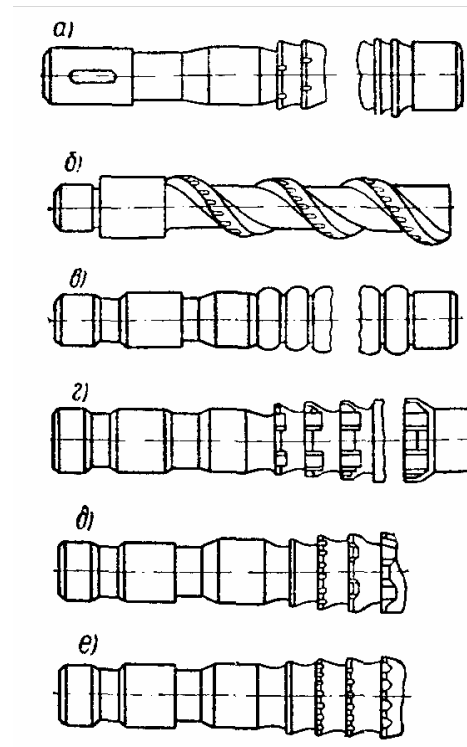


Рис. 4.12. Виды протяжек

4.6. Отделочные виды обработки отверстий

К основным отделочным видам обработки отверстий относятся: тонкое, или алмазное, растачивание, хонингование (шлифование брусками) и притирка.

Тонкое растачивание применяют главным образом для обработки цветных металлов и их сплавов, так как отделка отверстий заготовок из этих материалов шлифованием сопровождается засаливанием шлифовального круга, что затрудняет обработку.

Тонкое растачивание характеризуется незначительной глубиной резания (0,05 – 0,3 мм) и небольшими подачами (0,02 – 0,12 мм/об) при высоких скоростях резания (120 – 1000 м/мин и выше). Обработку осуществ-

ляют алмазными резцами или резцами, оснащенными пластинками из твердого сплава.

Алмазные резцы обладают высокой стойкостью, достигающей до 200 – 300 ч. Резцы с пластинками из твердых сплавов, с хорошо доведенной режущей кромкой также обеспечивают высокое качество обработанной поверхности, однако стойкость их значительно меньше.

Основными факторами, влияющими на точность обработки при тонком растачивании, являются тщательная доводка режущей кромки инструмента и вследствие этого малый износ его при высокой твердости, небольшое удельное давление резания, большие скорости резания и высокая точность оборудования.

Большое значение при этом виде обработки имеют припуск под растачивание и точность предшествующей операции. Повышенный припуск и неточность предшествующей обработки ухудшают условия работы режущего инструмента.

Для тонкого растачивания применяют специальные станки. Как правило, заготовку на этих станках закрепляют неподвижно, а вращение получает

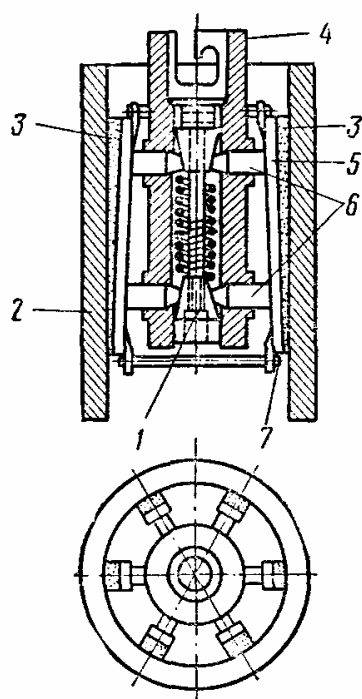


Рис. 4.13. Схема конструкции хонинговальной головки

режущий инструмент, что исключает влияние дисбаланса обрабатываемой заготовки на точность обработки.

Для тонкого растачивания корпусных деталей наиболее применимы горизонтально-расточные станки; для тонкого растачивания металлоемких корпусных деталей – вертикально-расточные станки.

Тонкое растачивание обеспечивает точность обработки в пределах 1 – 2-го классов, с чистотой поверхности по 7 – 10-му классам и отклонениями от правильной геометрической формы (овальность, конусообразность, огранка) не более 0,003 – 0,005 мм.

Хонингование (шлифование брусками) является основным видом отделочной обработки отверстий. Инструмент (рис. 4.13) – доводочная головка (хон) представляет собой цилиндр 4, вдоль образующих которого расположено шесть абразивных брусков 3, укрепленных на соответствующих планках 5 и соединенных попарно с радиальными стержнями 6, которые входят в соответствующие пазы головки.

Внутри головки смонтирован двусторонний конический регулируемый стержень 1, с помощью которого радиальные стержни вместе с абразивными брусками раздвигаются, регулируя диаметральный размер и компенсируя износ абразивных брусков.

Абразивные бруски соединены между собой попарно пружинами 7. Доводочную головку соединяют со шпинделем хонинговального станка шарниром.

Шпиндель станка сообщает доводочной головке одновременно вращательное (20 – 50 м/мин при обработке стали и 65 – 80 м/мин при обработке чугуна) и возвратно-поступательное движение (10 – 20 м/мин) в отверстии обрабатываемой заготовки 2. При этом хон абразивными брусками сглаживает поверхность обрабатываемого отверстия заготовки и доводит его до нужного размера и чистоты поверхности.

Точность отверстия после хонингования соответствует 1 – 2-му классам точности с чистотой поверхности в пределах 9 – 13-го классов.

В процессе хонингования могут быть исправлены погрешности формы отверстия (конусообразность, овальность, бочкообразность и др.), если они остались после предыдущей операции.

Припуск на хонингование зависит от точности предыдущей операции; обычно он составляет 0,01 – 0,2 мм (при подготовке поверхности под хонингование шлифованием припуск составляет 0,01 – 0,05 мм).

На качество хонингования влияют характеристика абразивных брусков и режимы обработки. Абразивные бруски изготовляют из электрокорунда зернистостью 8 – 3.

Оптимальный режим обработки при хонинговании следующий: окружная скорость доводочной головки 30 – 60 м/мин, скорость возвратно-поступательного движения 10 – 5 м/мин.

При хонинговании отверстий применяют охлаждающие жидкости, составленные из смеси керосина (90 %) и масла (10 %), а в некоторых случаях специальные смеси, состоящие из керосина с осерненным маслом, стеарина и других материалов.

Притирка – способ отделки отверстий с вращающимся притиром. Отверстия притирают лишь в единичном и мелкосерийном производствах, при обработке точных небольших отверстий, когда применение хонингования затруднительно.

Тонкую доводку (суперфиниш) для отделки отверстий, как правило, не применяют. При повышенном требовании к чистоте поверхности ее подвергают многократному хонингованию [1 – 3].

5. ОБРАБОТКА РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

5.1. Виды резьб и резьбовой инструмент

В машиностроительном производстве применяют цилиндрические резьбы – крепежные и ходовые, а также конические резьбы.

Основной крепежной резьбой является метрическая резьба треугольного профиля с углом профиля 60° .

Дюймовая резьба с углом профиля 55° также является крепежной, но в нашей стране и в странах СНГ она применяется только при изготовлении запчастей и ремонте старого или зарубежного оборудования. Применение дюймовой резьбы при проектировании новых изделий не разрешается.

Ходовые резьбы изготавливают с прямоугольным и трапецеидальным профилем; последние бывают однозаходные и многозаходные. Резьба может быть наружная (на наружной поверхности детали) и внутренняя (на внутренней поверхности детали).

Наружную резьбу можно изготавливать различными инструментами: резцами, гребенками, плашками, самораскрывающимися резьбонарезными головками, дисковыми и групповыми фрезами, шлифовальными кругами, накатным инструментом.

Для изготовления внутренней резьбы применяют: резцы, метчики, раздвижные метчики, групповые фрезы, накатные ролики.

Тот или иной метод нарезания резьбы применяется в зависимости от профиля резьбы, характера и вида материала изделия, объема производственной программы и требуемой точности.

Для резьбовых соединений с крупным шагом по ГОСТу в зависимости от величины допуска по среднему диаметру установлено три класса точности: кл. 1, кл. 2, кл. 3; для резьбовых соединений с мелким шагом – четыре класса точности: кл. 1, кл. 2, кл. 3а и кл. 3.

Обычно резьбу изготавливают по 2-му и 3-му классам точности, которые приблизительно соответствуют 4-му и 5-му классам точности для гладких валов и отверстий.

При нарезании резьбы помимо основного критерия – точности среднего диаметра резьбы необходимо выдерживать в определенном соотношении угол профиля и шаг, что значительно осложняет процесс нарезания резьбы, кроме того, поверхность резьбы должна быть чистой и гладкой.

5.2. Нарезание резьбы резцами и гребенками

Треугольную резьбу часто нарезают на токарно-винторезных станках резьбовыми резцами, т.е. резцами обычного типа, заточенными под тре-

буемым углом (60° для метрической резьбы и 55° – для дюймовой). Получение профиля резьбы обеспечивается соответствующим профилем резьбового резца, который должен быть заточен очень точно, и правильной установкой резца относительно детали: резец должен быть расположен строго перпендикулярно оси станка, так как в противном случае резьба получится кривой, кроме того, передняя поверхность резца должна быть расположена на высоте центров станка. При другом ее положении резьба будет нарезана с неправильным углом.

Высокие требования, предъявляемые к заточке резцов и сохранению правильного профиля, привели к внедрению в производство фасонных резьбовых резцов – призматических (рис. 5.1, а) и круглых (дисковых) (рис. 5.1, б).

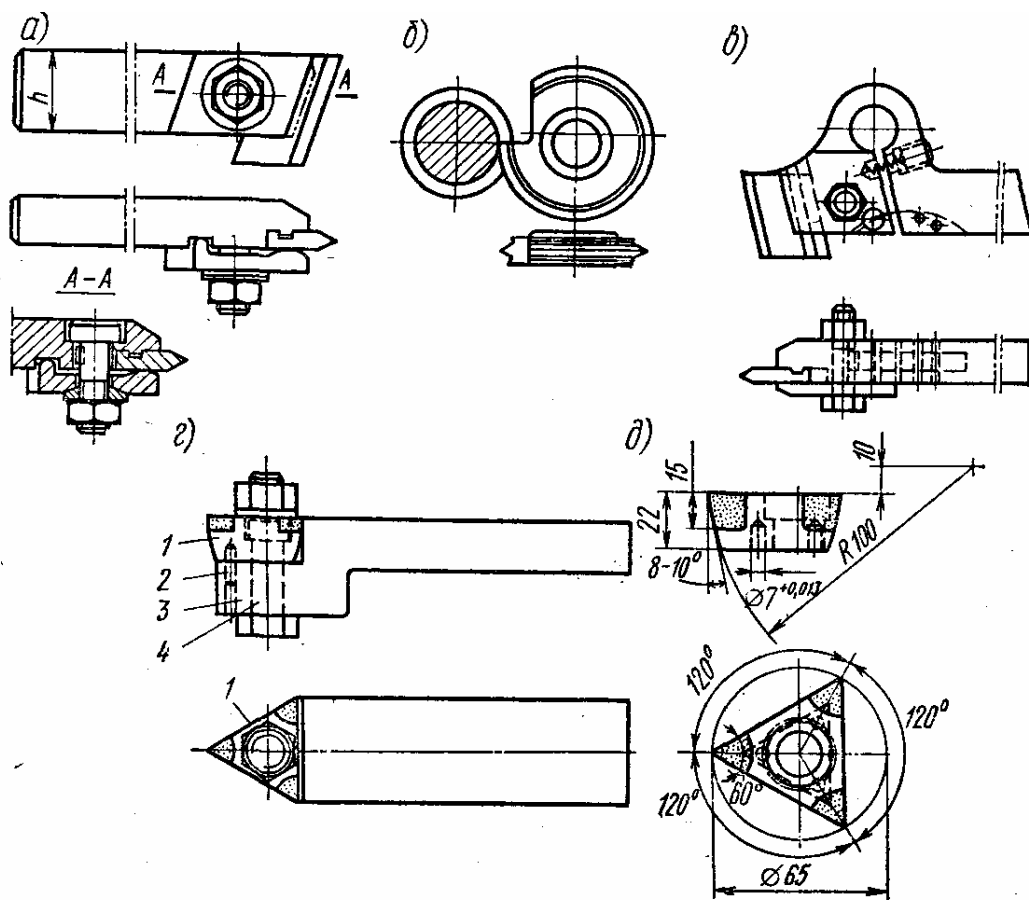


Рис. 5.1. Резцы для нарезания резьбы:

- а – призматический; б – круглый; в – пружинная державка;
г – трехрезцовая головка; д – трехрезцовая пластина

У этих резцов размеры элементов профиля резьбы выдерживаются более точно, чем у обычных, так как такие резьбовые резцы затачиваются по передней поверхности, а отшлифованные при изготовлении задние (боковые) поверхности сохраняют профиль неизменным.

Для улучшения качества поверхности резьбы часто применяют пружинные державки (рис. 5.1, в). Некоторые заводы применяют многорезцовые резьбовые головки. Трехрезцовая головка, представленная на рис. 5.1, з, состоит из корпуса 3, к которому болтом прикрепляется трехрезцовая пластина 1 (отдельно показана на рис. 5.1, д). По мере затупления одного из резцов пластина перезакрепляется так, чтобы в работе был новый, незатупившийся резец. Для этой цели в корпусе имеется штифт 2 (рис. 5.1, з), по которому пластина фиксируется тремя точно расположенными цилиндрическими отверстиями. Применение многорезцовых головок наиболее целесообразно в условиях серийного производства.

При нарезании резьбы одним резцом режущая кромка его вследствие быстрого притупления теряет форму, поэтому рекомендуется черновые ходы производить одним резцом с менее точным профилем, а чистовые ходы – чистовым резцом.

При нарезании резьбы в последнее время широко применяют твердосплавные резьбовые резцы со специальной заточкой, значительно повышающие режимы резания, используют для нарезания не только прямой, но и обратный ход резца, применяют автоматические выключатели, благодаря чему значительно повышают производительность труда.

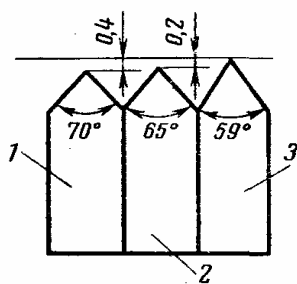


Рис. 5.2. Три резца для одновременного нарезания резьбы за один проход

При скоростном нарезании резьбы происходит небольшое искажение ее профиля: угол профиля нарезаемой резьбы получается всегда больше угла при вершине резца на $30' - 1^\circ 30'$. Поэтому новаторы рекомендуют в этих условиях применять резцы с углом профиля, равным углу профиля нарезаемой резьбы, уменьшенному на 1° . Например, для нарезания метрической резьбы с углом профиля 60° угол профиля чистового резца принят 59° .

Применяют также нарезание резьбы за один проход, используя одновременно три резца, оснащенных твердым сплавом и в совокупности (рис. 5.2) напоминающих гребенку. Черновой резец 1 имеет угол профиля 70° , получистовой резец 2 – 65° и чистовой резец 3 – 59° .

Нарезание резьбы резцом производится за несколько ходов в зависимости от требуемой точности, диаметра резьбы и твердости материала нарезаемой детали.

Необходимо заметить, что применение высоких скоростей резания при нарезании наружной и внутренней резьб в упор, в тех случаях, когда

на станке нет специальных автоматических упоров, ограничивающих ход суппорта, часто приводит к браку детали. Происходит это потому, что при большом числе оборотов шпинделя рабочий не всегда успевает отвести резец по окончании прохода. Значительно облегчается работа, когда для быстрого отвода резца используются специальные устройства, особенно автоматические (рис. 5.3).

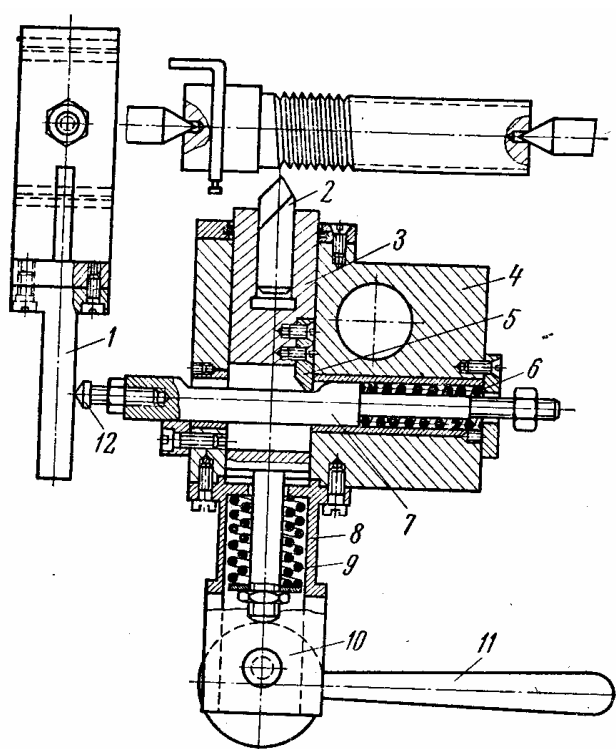


Рис. 5.3. Автоматическое устройство для нарезания резьбы

Устройство состоит из корпуса 4, в котором на скользящей посадке смонтирована пиноль 3 с закрепленным в ней резцом 2. Связанный с пинолью сухарь 5 под воздействием пружины 9 (помещенной в стакане 8) постоянно прижат к специальному валику 7. Перед нарезанием резьбы пиноль 3 выдвигается вперед. Сухарь 5 упирается при этом в наружную цилиндрическую поверхность валика 7, занимающего крайнее левое положение. На направляющих станины укрепляется упор 1 так, чтобы при входе резьбового резца в канавку регулируемый подвижной упор 12 вошел в контакт с упором 1. При этом валик 7 начинает двигаться слева направо, сжимая пружину 6. В момент, когда сухарь 5 окажется против выемки на валике 7, он под воздействием пружины 9 вместе с пинолью делает скачок назад, и резьбовой резец 2 выходит из резьбы.

После хода суппорт возвращают в исходное положение, устанавливают резец на глубину и поворотом рукоятки 11 эксцентрика 10 снова выдвигают пиноль вперед, а в это время валик 7 под воздействием пружины 6 проходит в крайнее левое положение и запирает механизм. В конце прохода механизм снова срабатывает и т. д.

В крупносерийном и массовом производстве, а также и в специализированном серийном производстве резьбу часто нарезают на станках, работающих по автоматическому циклу.

В полуавтоматах для скоростного нарезания резьб подача на глубину, рабочий и ускоренный ход, отвод резца и подача его в исходное положение осуществляются системой кулачковых, храповых и рычажных механизмов.

При нарезании точной резьбы на станках часто применяют специальные коррекционные устройства, которые компенсируют ошибки шага ходового винта. Эти устройства автоматически вводят поправки на точность ходового винта путем дополнительного поворота маточной гайки.

Нарезание прямоугольной и трапецеидальной резьб является более сложной работой в сравнении с нарезанием треугольных резьб. Резьбы прямоугольного и трапецеидального профиля изготавливают как однозаходными, так и многозаходными. При нарезании таких резьб для установки резцов по углу подъема винтовой линии применяют специальные державки.

На рис. 5.4, а показано последовательное нарезание трапецеидальной резьбы тремя резцами.

На рис. 5.4, б, в показаны приемы нарезания прямоугольной резьбы двумя и тремя резцами.

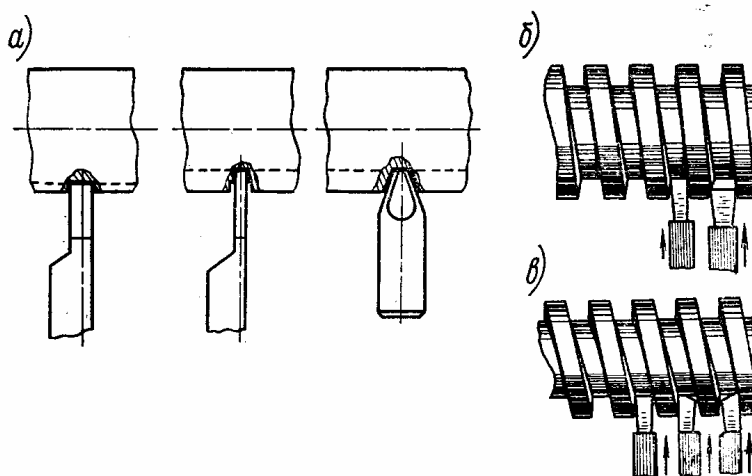


Рис. 5.4. Приемы нарезания резьбы:

а – трапецеидальной тремя резцами; б – прямоугольной двумя резцами;
в – прямоугольной тремя резцами

Применение для нарезания резьбы гребенок сокращает время нарезания и, таким образом, увеличивает производительность резьбонарезания. При нарезании резьбы гребенкой работа резания распределяется между несколькими зубьями. Для этой цели концы зубьев стачиваются от одного края гребенки к другому, так что глубина резания постепенно увеличивается. Особенно целесообразно и экономично применять гребенки при изготовлении больших партий одинаковых деталей. Гребенки нельзя применять при нарезании деталей, у которых резьба доходит до выступа или буртика, так как часть резьбы, находящаяся ближе к буртику, не получит полного профиля. Для точных резьб гребенки не применяются, так как они не могут дать высокой точности; их можно использовать только для предварительного нарезания.

Гребенки бывают плоские, тангенциальные и дисковые с кольцевыми и винтовыми канавками.

Плоские гребенки применяются для нарезания треугольной резьбы с малым углом подъема. Тангенциальные – для нарезания треугольной резьбы с большим углом подъема, они снабжены резьбой, обратной по отношению к резьбе обрабатываемой детали; если эта деталь должна иметь левую резьбу, то резьба гребенки – правая, и наоборот.

Круглые (дисковые) гребенки, так же как и круглые (дисковые) резцы, имеют то преимущество, что они затачиваются только по передней поверхности, допускают большое число переточек и, значит, имеют большой срок службы; благодаря этому они удобны в эксплуатации.

5.3. Нарезание многозаходных резьб

Нарезание многозаходной резьбы любого профиля начинают так, как если бы требовалось нарезать однозаходную резьбу с шагом, равным длине хода.

Нарезав одну винтовую канавку на полный профиль, отводят резец обратно (на себя) и, дав ходовому винту обратный ход, возвращают суппорт в начальное положение. После этого при неподвижном ходовом винте, а, следовательно, и неподвижном резце поворачивают деталь на такую часть окружности, сколько заходов имеет резьба, т. е. при двухзаходной на половину оборота, при трехзаходной на треть оборота и т. д.

Весьма просто нарезается многозаходная резьба при помощи поводкового патрона с несколькими пазами, количество пазов должно равняться количеству заходов винта или быть кратным этому количеству (рис. 5. 5, а).

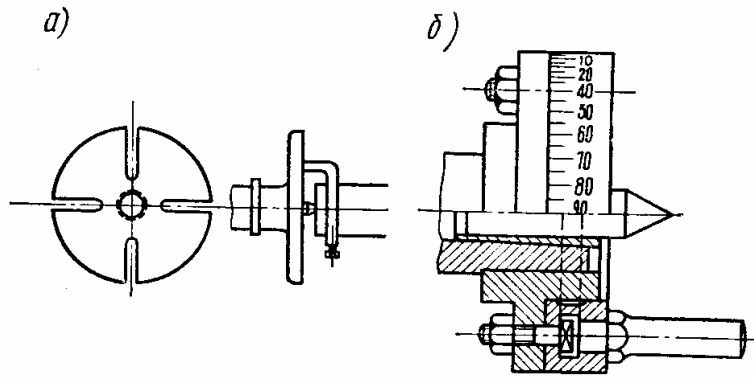


Рис. 5.5. Поводковые патроны для нарезания многозаходной резьбы:
а – с пазами; *б* – со специальной планшайбой

После нарезания каждого хода деталь снимают с центров и ставят вновь на них так, чтобы хомутик попал в следующий паз поводкового патрона, затем нарезают следующий ход.

Большое распространение имеет метод нарезания многозаходных

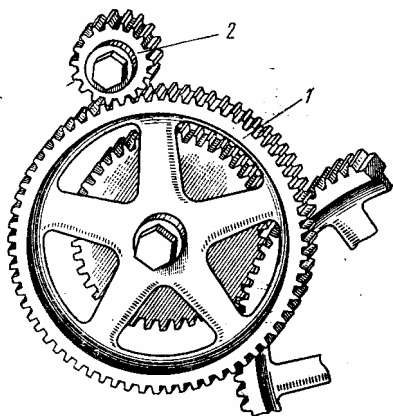


Рис. 5.6. Использование сменных зубчатых колес при нарезании многозаходных резьб

винтов при помощи специальной планшайбы (рис. 5.5, *б*) с двумя дисками. Один из этих дисков может поворачиваться относительно другого на различные углы в зависимости от числа заходов резьбы. На цилиндрической поверхности вращающегося диска нанесены деления, при помощи которых один диск устанавливается относительно другого на определенный угол.

На токарных станках, имеющих передачу к ходовому винту через сменные зубчатые колеса (рис. 5.6), многозаходные резьбы можно нарезать при помощи промежуточного колеса *1* и колеса *2*, сцепляемого с ним на гитаре. На колесе *1* ставится метка, после чего гитара расцепляется, а шпиндель поворачивается на угол, соответствующий количеству зубьев колеса и количеству заходов нарезаемой резьбы.

Данный метод применяется, если число зубьев колеса делится на число заходов резьбы, в противном случае либо подбирают другие колеса, либо пользуются другим методом.

Менее точным, но не требующим никаких приспособлений, является нарезание при помощи передвижения верхних салазок суппорта с резцом на величину расстояния между заходами резьбы. Этим методом, как и предыдущим, можно пользоваться при нарезании наружной и внутренней многозаходной резьбы. Многозаходную резьбу можно нарезать при помощи многорезцовых державок. На рис. 5.7, а показан резцедержатель для двух резцов, нарезающих одновременно двухзаходную резьбу.

На рис. 5.7, б показано приспособление для нарезания двухзаходной резьбы, состоящее из переднего 1 и заднего 2 резцедержателей, соединенных поперечным винтом 3 с правой и левой резьбой. Это приспособление можно применять для нарезания однозаходной резьбы.

В этом случае резцы, из которых один будет черновым, а другой чистовым, устанавливаются один от другого на расстоянии, равном половине шага нарезаемой резьбы.

Основное время для нарезания резьбы профильным резцом или гребенкой на токарных станках определяется по формуле

$$t = \frac{l_O + l_{BP} + l_{II}}{Sn} ig \text{ (мин)}, \quad (5.1)$$

где l_O – длина нарезки на детали в мм; l_{BP} – величина врезания резца в мм; l_{II} – величина перебега резца в мм; S – подача в мм/об (равна шагу резьбы); n – число оборотов детали в минуту; i – число ходов; g – число заходов резьбы (при нарезании резьбы гребенкой $g = 1$).

Основное время для нарезания резьбы на токарном станке по полуавтоматическому циклу определяется по формуле

$$t_O = \frac{l_O + l_{BP} + l_{II}}{Sn} ik_{OX} \text{ (мин)}, \quad (5.2)$$

где k_{OX} – коэффициент, учитывающий время на обратный ход каретки суппорта (т. е. время на автоматическое перемещение каретки суппорта в исходное положение перед началом каждого прохода);

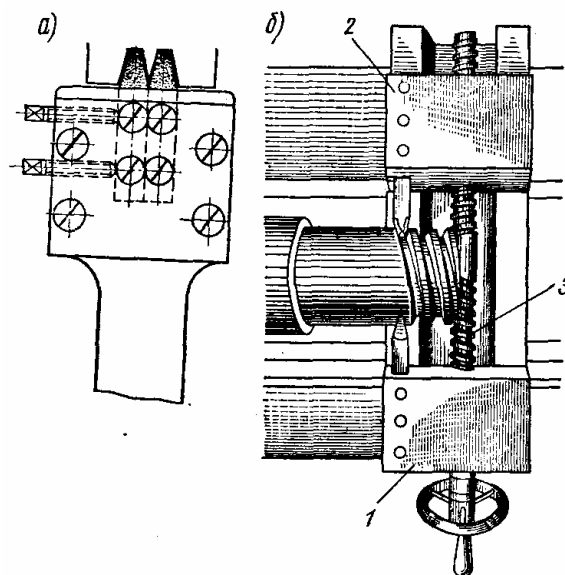


Рис. 5.7. Резцедержатели для нарезания двухзаходных резьб:

а – резцедержатель для двух резцов;

б – специальное приспособление

$$k_{ox} = \frac{360^\circ}{240^\circ} = 1,5; \quad (5.3)$$

240° – угол поворота копирного барабана за время рабочего хода, который обычно принимается в приспособлении для полуавтоматического нарезания резьбы.

5.4. Нарезание резьбы вращающимися резцами (вихревым методом)

Нарезание наружной резьбы так называемым вихревым методом осуществляется следующим образом.

Деталь, на которой должна быть нарезана резьба, закрепляется в центрах токарно-винторезного станка или в патроне. В процессе работы она медленно вращается. В специальной головке, установленной на суппорте станка (рис. 5.8, а), закрепляется резец с пластинкой твердого сплава. Головка, вращающаяся от специального привода, расположена эксцентрично относительно оси нарезаемой детали. Таким образом, при вращении головки резец, закрепленный в ней, описывает окружность, диаметр которой больше диаметра детали. Периодически (один раз за каждый оборот головки) резец соприкасается с нарезаемой деталью по дуге и за каждый оборот головки прорезает на детали серповидную канавку, имеющую профиль резьбы.

За каждый оборот вращающейся детали при перемещении вращающейся головки вдоль оси детали на величину шага резьбы на детали будет образовываться один виток резьбы. При нарезании резьбы головку поворачивают относительно оси детали на величину угла подъема винтовой линии резьбы.

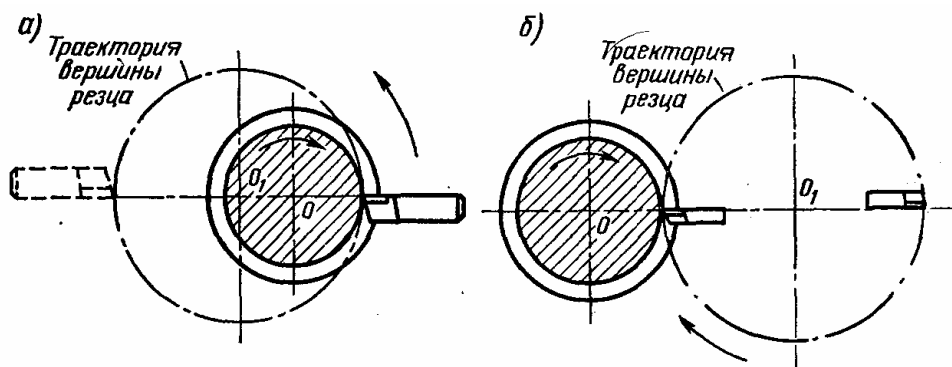


Рис. 5.8. Схема нарезания резьбы вращающимися резцами
(вихревой метод нарезания резьбы):

$O - O_1$ расстояние между осями вращения детали и резца

Вихревое нарезание наружной резьбы с внешним касанием можно производить и по схеме, изображенной на рис. 5.8, б. На практике нарезание резьбы по этой схеме применяется реже, чем по схеме, показанной на рис. 5.8, а, ввиду образования более короткой и толстой стружки и получения менее чистой поверхности резьбы. При вихревом нарезании резьбы скорость резания, соответствующая скорости вращения резца, принимается в пределах от 150 до 450 м/мин; круговая подача берется от 0,2 до 0,8 мм за один оборот резца.

В некоторых конструкциях головок для вихревой резьбы закрепляют не один, а два или четыре резца (рис. 5.9, а); у четырехрезцовых головок два резца прорезают канавку, третий придает ей профиль резьбы, четвертый удаляет заусенцы (на рисунке один резец). При нарезании внутренней резьбы деталь закрепляется в патроне станка, резец – в оправке головки, которая устанавливается на суппорте станка (рис. 5.9, б).

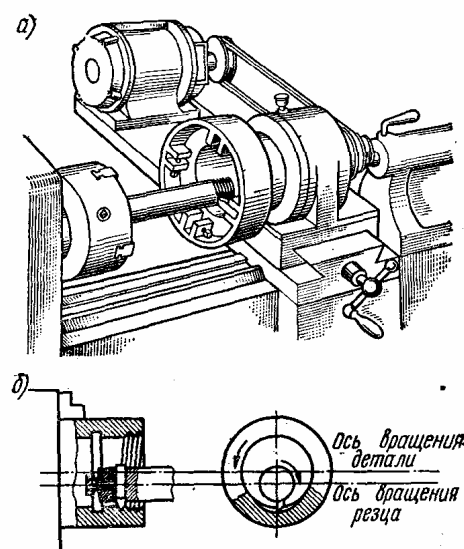


Рис. 5.9. Нарезание резьбы вращающимися резцами: а – головка для четырех резцов (в положении, показанном на рисунке, установлен только один резец); б – схема нарезания внутренней резьбы

Нарезать резьбу вихревым методом можно на токарно-винторезных, резьбонарезных и резьбофрезерных станках при помощи специальных устройств.

Основное время нарезания резьбы вращающимися резцами (вихревым методом) определяется по формуле

$$t_O = \frac{(l_O + l_{BP} + l_{II})}{sn} i = \frac{(l_O + l_{BP} + l_{II}) \pi D_H}{s S_O n_P Z_P} i, \quad (5.4)$$

где l_O – длина резьбы в мм; l_{BP} – величина врезания резьбы в мм ($l_{BP} = 1 - 2$ шага резьбы в мм); l_{II} – величина перебега резьбы в мм ($l_{II} = 1 - 2$ шага резьбы в мм); s – шаг нарезаемой резьбы в мм; n – число оборотов детали в минуту; D_H – наружный диаметр резьбы в мм. S_O – круговая подача детали в мм на один резец за один оборот резцовой головки;

$$S_O = \frac{\pi D_H n}{n_p Z_P}, \quad (5.5)$$

n_p – число оборотов резцовой головки в минуту;

$$n_p = \frac{1000 v_P}{\pi D_P}, \quad (5.6)$$

где v_P – скорость резания в м/мин; D_P – диаметр резцовой головки в мм; Z_P – число резцов, установленных в резцовой головке ($Z_P = 1 - 4$); i – число ходов ($i = 1$; резьба обычно нарезается за один ход).

5.5. Нарезание резьбы плашками и самораскрывающимися резьбонарезными головками

Основной недостаток всех типов плашек – это необходимость свинчивания их по окончании нарезания, что вызывает значительную затрату времени и снижает производительность, а также ухудшает качество резьбы.

Нарезание резьбы самораскрывающимися резьбонарезными головками (рис. 5.10, б), применяемыми на автоматах, револьверных и болторезных станках, значительно производительнее (в 3 – 4 раза), чем нарезание плашками (рис. 5.10, а), так как благодаря автоматическому раскрыванию обратного свинчивания их не требуется.

Резьбонарезные головки нормализованной конструкции изготавливаются серийным порядком с тангенциальным и радиальным расположением плашек, а также с круглыми плашками.

Основное время при нарезании резьбы плашками определяется по формуле

$$t_O = \frac{(l_O + l_{BP} + l_{II})}{ns} + \frac{(l_O + l_{BP} + l_{II})}{n_O s} i, \quad (5.7)$$

где l_O – длина нарезаемой резьбы в мм; l_{BP} – величина врезания плашек в мм; l_{II} – величина перебега плашек в мм ($l_{BP} = l_{II} = 1 - 2$ шага резьбы в мм); s – шаг нарезаемой резьбы в мм; n – число оборотов в минуту при рабочем ходе (при нарезании резьбы); n_O – число оборотов в минуту при обратном ходе (при свинчивании).

Основное время при нарезании резьбы самораскрывающимися резьбонарезными головками определяется по формуле

$$t = \frac{l_O + l_{BP} + l_{II}}{ns} \text{ (мин)}. \quad (5.8)$$

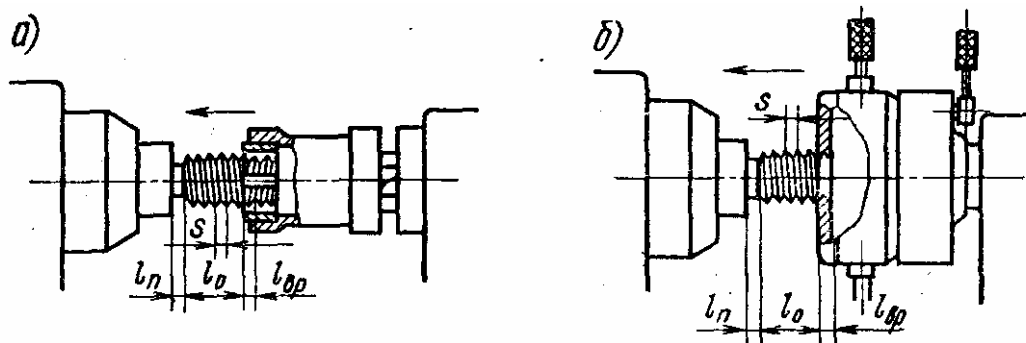


Рис. 5.10. Схемы нарезания резьбы:
a – круглой плашкой; *б* – резьбонарезной головкой

5.6. Фрезерование резьбы

Фрезерование наружной и внутренней резьбы широко применяется в производстве и осуществляется двумя способами: 1) дисковой фрезой, 2) групповой фрезой.

Первый способ – фрезерование дисковой фрезой – применяется при нарезании резьб с большим шагом и крупным профилем. Нарезание дисковой фрезой производится за один проход и для очень крупных резьб – за два или три прохода. Профиль фрезы соответствует профилю резьбы. Ось фрезы располагается по отношению к оси детали под углом α , равным углу наклона резьбы (рис. 5.11, *a*). Дисковые фрезы применяются симметричные (рис. 5.11, *б*) и несимметричные (рис. 5.11, *в*) в зависимости от конструкции станка. При нарезании резьбы фреза вращается и имеет поступательное движение вдоль оси детали, причем перемещение за один оборот детали должно точно соответствовать шагу резьбы. Вращение детали происходит медленно в соответствии с подачей.

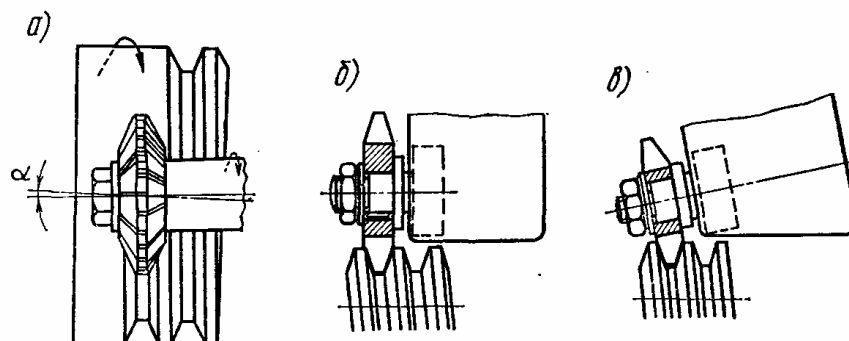


Рис. 5.11. Схемы фрезерования резьбы дисковыми фрезами:
a – смещение осей фрезы и нарезаемой детали;
б – фреза симметричного профиля; *в* – фреза несимметричного профиля

Основное время при нарезании резьбы дисковой фрезой на резьбо-фрезерных станках определяется по формуле

$$t_O = t_1 + t_2 + t_3, \quad (5.9)$$

где t_1 – время нарезания при первом проходе; t_2 – время нарезания при втором проходе; t_3 – время нарезания при третьем проходе.

Время нарезания для каждого прохода определяется отдельно, так как глубина резания, минутная подача и врезание для каждого из них различны.

Время нарезания каждого прохода t_i определяется по формуле

$$t_O = \frac{l_O + l_{BP} + l_{II}}{s_i} \frac{\pi d}{\cos \alpha S_M} i g \text{ (мин)}, \quad (5.10)$$

где l_O – длина резьбы в мм; l_{BP} – величина врезания дисковой фрезы в мм; l_{II} – величина перебега дисковой фрезы в мм (для резьбы на проход $l_{II} = 1 - 3$ шага резьбы; для резьбы в упор $l_{II} = 0$); d – наружный диаметр нарезаемой резьбы в мм; s_i – шаг резьбы в мм; α – угол наклона витков резьбы к оси нарезаемой детали в градусах; S_M – минутная подача по наружной окружности нарезаемой детали в мм/мин; i – число ходов; g – число заходов резьбы.

$$S_M = S_Z Z n_\phi \text{ (мм/мин)}, \quad (5.11)$$

здесь S_Z – подача в мм на один зуб резьбовой фрезы; Z – число зубьев резьбовой фрезы; n_ϕ – число оборотов резьбовой фрезы в минуту;

$$n_\phi = \frac{1000v}{\pi D}, \quad (5.12)$$

здесь v – скорость резания в м/мин; D – диаметр фрезы в мм.

Величину врезания дисковой фрезы l_{BP} можно приблизительно определить по формуле

$$l_{BP} = \sqrt{t(D-t)} \text{ (мм)}, \quad (5.13)$$

здесь t – глубина резьбы в мм.

Второй способ – фрезерование групповой фрезой – применяется для получения коротких резьб с мелким шагом (рис. 5.12).

Групповая фреза (иногда называется гребенчатой) представляет собой как бы группу дисковых фрез, собранных на одну оправку (отсюда название «групповая фреза»). Длина фрезы обычно принимается на 2 – 5 мм больше длины фрезеруемой резьбы. Групповая фреза для нарезания резьбы

устанавливается параллельно оси детали, а не под углом, как дисковая фреза. (Резьбу с большим наклоном групповой фрезой нарезать нельзя.) Предварительно производят врезание фрезы на глубину резьбы. Во время полного оборота детали групповая фреза перемещается на величину шага резьбы.

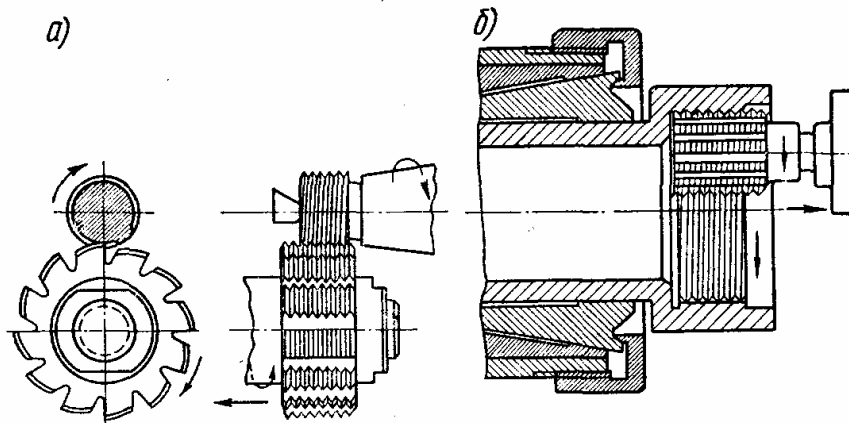


Рис. 5.12. Схемы фрезерования резьбы групповыми фрезами:
a – наружной резьба; *б* – внутренней резьбы

Фрезерование резьбы происходит за 1,2 оборота детали (0,2 оборота детали необходимо для врезания фрезы на глубину резьбы и перекрытия места врезания).

Основное время для нарезания резьбы групповой фрезой на резьбофрезерных станках определяется по формуле, выведенной из формулы (5.10), при этом принято, что деталь делает один оборот и коэффициент врезания равен 1,2, число проходов и число заходов при нарезании групповой фрезой равно единице:

$$t_0 = \frac{1,2\pi d}{S_M} \text{ (мин)}. \quad (5.14)$$

5.7. Нарезание внутренней резьбы метчиками

Внутреннюю резьбу часто нарезают метчиками. Метчики бывают ручные и машинные. Ручные метчики применяются обычно комплектом из двух или трех штук. Машинные метчики применяются для работы главным образом на сверлильных станках. Машинные метчики бывают цельные, прямые, с вставными ножами и гаечные.

Для нарезания резьбы в отверстиях малых и средних диаметров применяют метчики цельные и гаечные, для нарезания в отверстиях больших

диаметров (до 300 мм) – цельные метчики со вставными ножами или резьбонарезные головки с раздвижными плашками.

Для нарезания гаек в специализированном производстве крепежных деталей или при изготовлении большого количества гаек в серийном производстве применяются специальные станки для нарезания гаек при помощи изогнутого метчика. Такой станок имеет подшипник, в котором закреплен пустотелый шпиндель с изогнутой трубкой. В этой трубке расположен изогнутый метчик. До начала работы трубка заполняется гайками. Гайки после нарезания резьбы перемещаются автоматически сквозь трубку и падают в ящик. Изогнутая форма метчика препятствует выпадению его из шпинделя.

Наиболее производительным является нарезание гаек на гайконарезных автоматах и полуавтоматах с кривыми метчиками, закрепленными в специальном патроне, состоящем из двух половин. Метчик вместе с направляющей втулкой закладывается в одну половину патрона, после чего вторая половина скрепляется болтами с первой. От перемещения метчик удерживается гайками, находящимися на его хвосте. Гайки загружаются в бункер станка и под действием ползуна подаются к метчику. Такие автоматы изготавливаются обычно двухшпиндельными.

Если при нарезании резьбы сквозной проход метчика невозможен, необходимо вывинтить метчик по окончании нарезания. Для этого у многих револьверных и сверлильных станков имеются реверсивные устройства. При отсутствии у станков реверсивного устройства применяются специальные реверсивные патроны, которые имеют зубчатую передачу, переключающуюся на обратный ход в конце нарезания отверстия.

Для устранения поломок метчика при упоре его в дно глухого отверстия, а также при перегрузке, являющейся следствием твердости материала или отсутствия смазки и т. п., применяются специальные предохранительные патроны, позволяющие метчику останавливаться при вращающемся шпинделе, когда крутящий момент превысит величину, безопасную для прочности механизма.

Основное время при нарезании резьбы метчиком в сквозном и глухом отверстии определяется по формуле

$$t_O = \frac{(l_O + l_{BP} + l_{II})}{sn} + \frac{(l_O + l_{BP} + l_{II})}{sn_O} i, \quad (5.15)$$

где l_O – длина нарезаемой резьбы в мм; l_{BP} – длина врезания метчика в мм ($l_{BP} = 1 \div 3s$); l_{II} – длина перебега метчика в мм ($l_{II} = 2 \div 3s$ при сквозном отверстии и $l_{II} = 0$ при глухом отверстии); s – шаг нарезаемой резьбы в мм; n –

число оборотов при рабочем ходе (при нарезании резьбы) в минуту; n_0 – число оборотов при обратном ходе (при вывинчивании метчика) в минуту.

Основное время при нарезании резьбы гаечным метчиком определяется по формуле

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{BP} + l_{II})}{sn}, \quad (5.16)$$

где $l_{II} = 0$.

При нарезании резьбы в термически обработанных до высокой твердости сталях, а также в труднообрабатываемых сталях и сплавах повышенной прочности твердосплавные метчики обеспечивают значительно большую стойкость и лучшее качество нарезаемой резьбы, чем метчики из быстрорежущей стали. В метчиках диаметром 40 мм и более целесообразно применять механическое крепление пластинок твердого сплава, так как это обеспечивает лучшее использование твердого сплава, более высокое качество и долговечность инструмента.

На рис. 5.13, *а* показан сборный метчик, у которого пластины 1 твердого сплава крепятся в пазах втулки 2 с помощью клиновых прижимов 3. В осевом направлении пластины фиксируются торцом корпуса 4 метчика и крышкой 5, повернутой к втулке 2. Эта втулка крепится к корпусу 4 гайкой 7 и фиксируется от проворота штифтом 6.

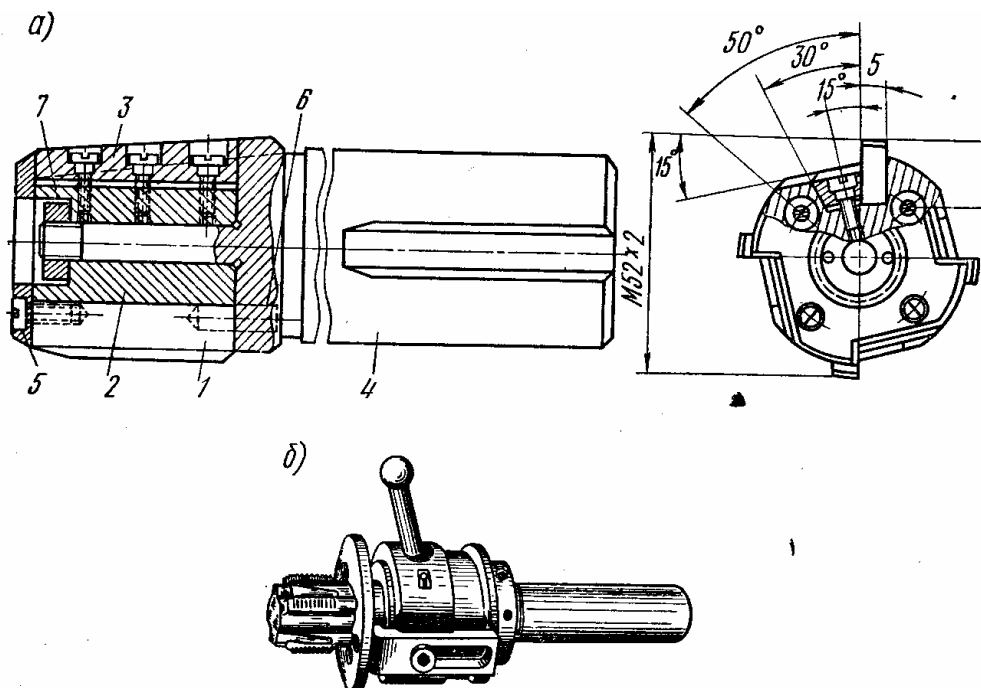


Рис. 5.13. Сборный метчик (*а*), резьбонарезная головка для нарезания внутренней резьбы (*б*)

Нарезание резьбы такими метчиками обеспечивает 2-й класс точности. Для сталей 45 и 40Х (HRC 38-40) применяются пластины Т5К10, а для высокопрочного чугуна (HB 350-380) – ВК8.

Для нарезания внутренней резьбы на револьверных станках и автоматах применяют резьбонарезные головки (рис. 5.13, б) с раздвижными плоскими плашками, называемыми иногда самооткрывающимися метчиками. Принцип действия этих головок схож с принципом действия самораскрывающихся головок для нарезания наружной резьбы. Как только нарезание резьбы окончено, режущие плашки автоматически сдвигаются, что позволяет вывести их из отверстия, в котором нарезалась резьба.

Основное время при нарезании резьбы самооткрывающимся метчиком определяется по формуле

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{BP} + l_{II})}{sn}. \quad (5.17)$$

5.8. Шлифование резьбы

Шлифование резьбы широко применяется при изготовлении резьбонарезного инструмента, резьбовых калибров, накатных роликов, точных винтов и других деталей с точной резьбой. Шлифуют резьбу обычно после термической обработки, которая часто искажает элементы резьбы. Процесс шлифования резьбы одно- и многониточным кругом (рис. 5.14, а) аналогичен фрезерованию соответственно дисковой или групповой фрезой.

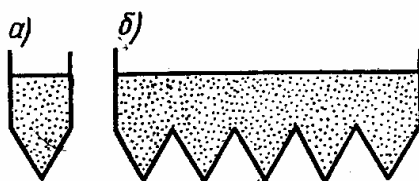


Рис. 5.14. Абразивные круги для шлифования резьбы:
а – однониточный; б – многониточный

Шлифование однониточным кругом 1 (рис. 5.15, а) осуществляется при продольном перемещении детали 2. Однониточные круги правят одним или двумя алмазами при помощи специального приспособления (рис. 5.15, б).

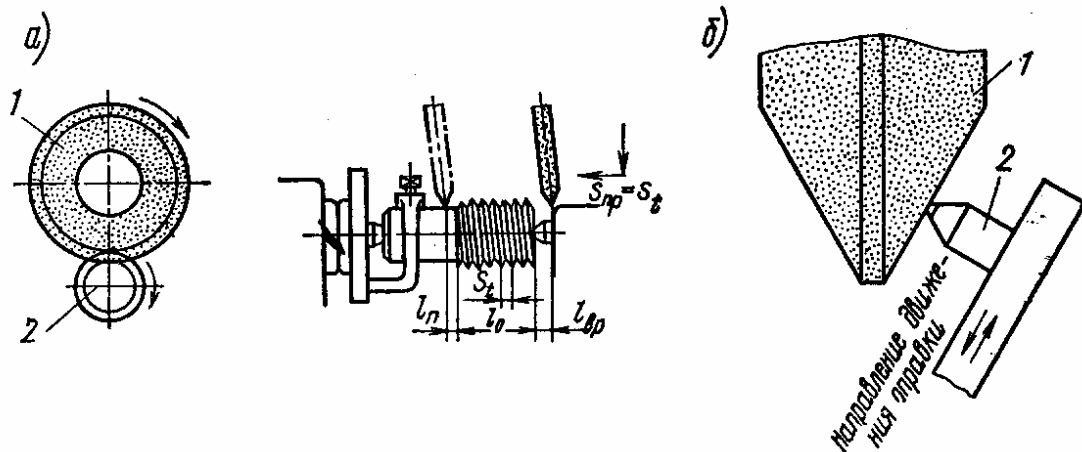


Рис. 5.15. Шлифование резьбы однониточным кругом:
 а – схема шлифования: 1 – шлифовальный круг; 2 – деталь; б – правка
 круга: 1 – шлифовальный круг; 2 – державка с алмазом

Многониточные круги применяют преимущественно при шлифовании резьбы на деталях с короткой нарезанной частью (обычно не более 40 мм). На рис. 5.16, а, б показаны схемы шлифования (I и II – положения круга). Ширина шлифовального круга должна быть больше длины шлифуемой резьбы на 2 – 4 шага. На круге делается кольцевая резьба с требуемым шагом. Шлифование производится по методу врезания при продольном передвижении детали на 2 – 4 шага за 2 – 4 ее оборота.

Если длина резьбы больше ширины многониточного круга, шлифование производится при продольном передвижении детали относительно круга. Все нитки резьбы детали последовательно шлифуются всеми нитками шлифовального круга. Заправляют круг под углом α , как показано на рис. 5.16, в. Врезное многониточное резьбошлифование неизбежно приводит к искажению профиля резьбы, при продольном перемещении детали относительно шлифовального круга искажение профиля получается значительно меньшим.

Профилируют многониточный шлифовальный круг на большинстве станков посредством накатывания кольцевой резьбы стальным роликом (рис. 5.16, г).

Ролик для накатывания кольцевой резьбы изготавливают из закаленной стали марок Р18, У12, ХВГ. На цилиндрической поверхности ролика нарезана кольцевая резьба с требуемым шагом и углом профиля, на той же поверхности ролика прорезаны пересекающие кольцевую резьбу спиральные канавки с неравномерным шагом; иногда вместо спиральных канавок по всей поверхности резьбы ролика просверливают отверстия.

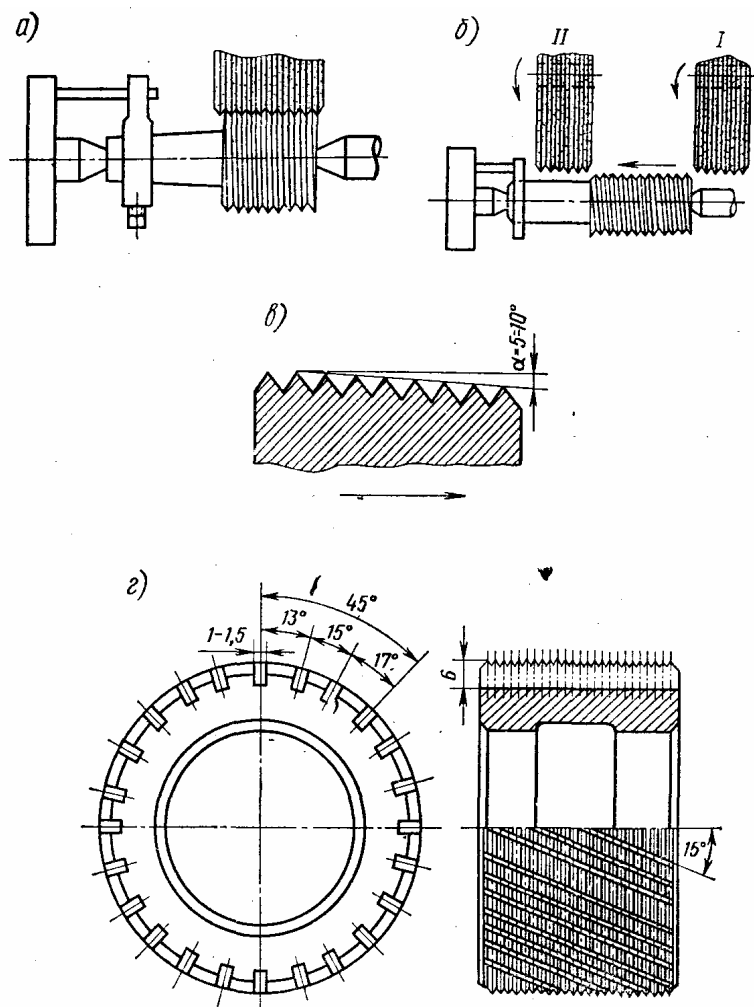


Рис. 5.16. Шлифование резьбы многониточным кругом:
a и *б* – схемы шлифования; *I* и *II* – соответственно начальное и конечное положения шлифовального круга; *в* – заправка многониточного шлифовального круга под углом α ;
г – ролик для накатывания кольцевой резьбы на круге

При накатывании шлифовальный круг приводится в медленное вращение, благодаря которому круг заставляет вращаться ролик. Витки ролика постепенно выкрашивают на поверхности круга канавки, образуя кольцевую резьбу.

На некоторых резьбошлифовальных станках имеются специальные приспособления для профилирования многониточного шлифовального круга алмазом.

Основное время при шлифовании резьбы однониточным кругом определяется по следующей формуле:

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{BP} + l_{II})a}{s_t n S_{II}} k, \quad (5.18)$$

где l_0 – длина резьбы в мм, l_{BP} – длина врезания; l_{II} – длина перебега в мм.

$$l_{BP} = l_{II} = 1 \div 3s_t, \quad (5.19)$$

s_t – шаг резьбы в мм; n – число оборотов детали в мин; a – припуск на шлифование по среднему диаметру резьбы в мм; S_{II} – поперечная подача на один проход (глубина шлифования) в мм; k – коэффициент, учитывающий точность шлифования.

Основное время при шлифовании резьбы многониточным кругом определяется по формуле

$$t_o = \frac{\pi d n_M}{1000v} \quad (\text{мин}), \quad (5.20)$$

где d – наружный диаметр резьбы в мм; n_M – число оборотов детали за время шлифования резьбы; n_M обычно принимают равным 2,2 (первый оборот – предварительное шлифование, второй оборот – окончательное). Подвод детали к кругу производится во время вращения детали, поэтому для шлифования требуется не 2, а 2,2 оборота; v – скорость вращения детали в м/мин.

Резьбы с большим шагом шлифуют после предварительного нарезания резцом или фрезой и их термической обработки. Резьбы с малым шагом (до 1,5 мм) на закаленном валике часто образуются вышлифовыванием однониточным или многониточным кругом.

Шлифуют резьбу главным образом на специальных резьбошлифовальных станках. При небольших размерах производства можно шлифовать наружную и внутреннюю резьбу на токарно-винторезных станках, обладающих достаточной точностью, при помощи специальных приспособлений.

При шлифовании резьб точность обработки обычно выражается допуском по среднему диаметру в мм, по шагу резьбы (на длине 25 мм) в мм и по половине угла профиля в мин.

Бесцентровое шлифование резьбы применяется преимущественно в массовом производстве при наличии многониточных кругов. Этим методом можно шлифовать только наружную резьбу. Для этих целей применяются станки, имеющие схемы обычных бесцентровошлифовальных станков, снабжаемые многониточными кругами с кольцевыми канавками, имеющими профиль шлифуемой резьбы. Круги имеют конусную заборную часть, что позволяет шлифовать деталь по наружному диаметру при наличии припуска, а образование профиля резьбы происходит постепенно по мере перемещения детали.

Деталь опирается на нож, точно установленный под углом подъема винтовой линии резьбы. Ось ведущего круга наклонена в вертикальной плоскости в ту же сторону, что и нож, но на угол, вдвое больший, благодаря чему заготовка помимо вращения осуществляет также осевую пода-

чу на один шаг за один оборот. Вращение заготовки в несколько раз медленнее, чем при круглом шлифовании.

При шлифовании резьбы на деталях, имеющих головку или буртик, препятствующие сквозной осевой подаче, образование резьбы осуществляется за 1,2 – 1,5 оборота заготовки. В этом случае резьба шлифуется сразу по всей длине с предварительным врезанием шлифовального круга на глубину профиля.

При шлифовании таким методом можно получить резьбу 1-го класса точности; производительность при обработке деталей длиной 20 – 30 мм составляет 30 – 50 шт. в минуту.

5.9. Накатывание резьбы

Накатывание резьбы осуществляется при помощи давления, а не резания металла. При этом методе волокна материала не разрезаются, а деформируются пластически под воздействием резьбонакатных плашек или роликов, выступы которых вдавливаются в обрабатываемый металл. Полученная таким методом резьба имеет ровную, чистую и уплотненную поверхность.

Накатывается резьба в холодном состоянии. Материал изделия влияет весьма сильно на качество резьбы: высокое качество резьбы получается на изделиях из пластичного материала; на твердом материале резьба, в особенности крупная, накатывается на мощных станках с большими нагрузками.

Резьбу можно накатывать двумя способами: 1) плоскими накатными плашками и 2) накатными роликами (иногда их называют круглыми плашками).

5.10. Применение методов нарезания резьбы

Нарезание резьбы резцом на токарно-винторезном станке применяется главным образом для точных и длинных винтов, при нестандартном профиле резьбы, а также в других случаях, когда применение или изготовление специального инструмента затруднительно. При этом способе применяется более простой инструмент и достигается большая точность, чем на резьбофрезерном станке.

Низкая производительность и требующаяся высокая квалификация рабочего являются недостатками нарезания резьбы на токарных станках.

На токарно-револьверных станках и автоматах резьба нарезается главным образом плашками и резьбонарезными головками при совмещении нарезания резьбы с обработкой других поверхностей изделий.

Фрезерование резьбы целесообразно применять при достаточно больших партиях деталей, так как этот метод более производительен, чем нарезание на токарном станке. При фрезеровании резьбы квалификация рабочего может быть ниже, и он может работать на нескольких станках одновременно.

Шлифование резьбы применяется главным образом для резьбового режущего и измерительного инструмента, так как с помощью этого метода можно получить весьма точную резьбу на закаленной поверхности.

Накатывание резьбы применяется в крупносерийном и массовом производстве ввиду высокой производительности этого метода получения резьбы при достаточной ее точности.

5.11. Методы контроля резьбы

Точность резьбовой поверхности зависит от точности следующих основных элементов резьбы: 1) угол профиля резьбы, 2) шаг резьбы, 3) средний диаметр резьбы, 4) наружный диаметр резьбы и 5) внутренний диаметр резьбы. Основным критерием является точность резьбы по среднему диаметру.

Точность всех этих элементов должна быть соблюдена не только в отношении величины, но и по отношению к связи их между собой.

Обычно контроль резьбы деталей производится предельными резьбовыми кольцами и скобами для наружной резьбы и предельными резьбовыми пробками – для внутренней резьбы. Для менее точного определения шага резьбы применяются резьбовые шаблоны. Проверка резьбовых калибров производится по элементам резьбы. Весьма распространенным инструментом для проверки среднего диаметра является резьбовой микрометр, который имеет специальные наконечники.

Для проверки среднего диаметра резьбы применяются также резьбовые скобы с двумя парами мерительных роликов или с мерительными гребенками и приборы, измерение с помощью которых основано на принципе сравнения с эталоном. Такой прибор имеет наконечники, после установки которых по эталону на нуль индикатора измеряют деталь. Средний диаметр резьбы проверяется также методом трех проволочек. Этот метод измерения среднего диаметра состоит в том, что между нитками резьбы вкладываются три проволочки: две из них – с одной стороны, а третья – с другой; расстояние между ними измеряется микрометром или оптиметром. Диаметр проволочек должен быть выполнен с точностью до 0,5 мкм; прямолинейность проволочек должна быть выдержана с точностью до 0,5 мкм на длине 6 мм. Для точного измерения трех главных элементов резьбы – среднего диаметра, угла профиля и шага – применяется универсальный микроскоп [3].

6. ОБРАБОТКА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

6.1. Технологические предпосылки выбора метода обработки плоских поверхностей

Плоские поверхности обрабатывают строганием, долблением, фрезерованием, шлифованием и протягиванием (без учета отделочных операций).

Строгание и долбление наиболее применимы в серийном, особенно в мелкосерийном и индивидуальном производствах, так как для работы на строгальных и долбежных станках не требуется сложных приспособлений и инструментов. Однако эти виды обработки малопродуктивны. Низкая производительность объясняется тем, что обработку ведут одним или небольшим числом резцов с потерями времени на обратные холостые ходы.

Скорости резания при этих видах обработки небольшие, так как осуществление возвратно-поступательного движения с большими скоростями представляет конструктивные трудности вследствие развивающихся больших сил инерции при движении деталей и узлов станка. Так, например, при строгании заготовок из чугуна для черного прохода рекомендуется скорость резания 15 – 20 м/мин, для чистового – 4 – 12 м/мин с глубиной резания соответственно 0,5 – 0,8 и 0,08 мм.

При строгании и долблении резцы устанавливают «на размер» обычно по разметке или по шаблонам и режут с помощью «пробных стружек».

Обрабатываемые заготовки устанавливают непосредственно на столе станка, выверяют с помощью клиньев и подкладок и закрепляют прихватами и другими нормализованными зажимами.

Вспомогательное время при работе на строгальных и долбежных станках относительно велико, что еще больше снижает производительность этих станков. В некоторых случаях при одновременной обработке нескольких заготовок применяют простейшие установочно-зажимные приспособления. Наиболее выгодно на продольно-строгальных станках обрабатывать длинные и узкие плоскости, например, кромки стальных листов и плит, направляющих станин металлообрабатывающих станков и т. п.

Повысить производительность на строгальных станках можно, применив одновременно несколько резцов на одной державке, что сократит число рабочих ходов и позволит снять значительно больший припуск за один проход; при одновременной работе нескольких суппортов и, следовательно, совмещения во время обработки нескольких поверхностей; при

применении широких резцов и больших подач при чистовом строгании, специальных установочно-зажимных приспособлений и шаблонов для установки резцов при профильном строгании, например, при строгании направляющих станин станков и т. п.

Производительность можно повысить также последовательной или параллельно-последовательной обработкой, одновременно одного или нескольких рядов обрабатываемых заготовок.

Однако последний способ повышает производительность только в том случае, если установка и совместная выверка ряда заготовок на одном станке не требуют значительных затрат вспомогательного времени.

При установке и зажатии обрабатываемой заготовки на строгальном станке необходимо следить за тем, чтобы заготовка не была деформирована силами, развиваемыми зажимами, что особенно важно при чистовом строгании заготовок крупных размеров. Поэтому после чернового строгания таких заготовок рекомендуется отпустить все зажимы и вновь зажать заготовку так, чтобы она не имела деформаций.

Точность работы на продольно-строгальных станках обуславливается главным образом квалификацией и опытом рабочего, а также качеством и состоянием станка.

На ряде станкостроительных заводов при чистовом строгании станин станков достигнута такая точность, что отпадает необходимость в шабренении, так как точность строгания направляющих станин в этих случаях характеризуется отклонениями по прямолинейности, не превышающими 0,02 мм на 1 м длины и 0,05 мм на всю длину станины. В обычных же практических условиях точность работы на строгальных станках не выходит за пределы 0,1 – 0,2 мм на 1 м длины.

При чистовой обработке вследствие тихоходности строгальных станков следует применять широкие резцы с шириной режущей кромки от 15 до 40 мм и большие подачи (от 10 до 25 мм) в зависимости от требуемых точности и чистоты обрабатываемой поверхности.

Долблением обрабатывают поверхности внутренних контуров, когда невозможно или затруднительно выполнять эту операцию на другом станке.

Процессы строгания и долбления аналогичны, однако в первом случае (при работе на продольно-строгальных станках) движение резания придается заготовке, а движение подачи – резцу. Во втором – движение резания придается резцу, а движение подачи – заготовке, причем движение подачи осуществляется в плоскости, перпендикулярной направлению дви-

жения резца. Подача может производиться параллельно или перпендикулярно режущей кромке резца или по кругу.

Фрезерование в массовом производстве совершенно вытеснило применявшееся ранее строгание и частично долбление.

При обработке фрезерованием производительность выше, чем при строгании, так как в единицу времени обрабатывается значительно большая поверхность, чем при обработке однолезвийным инструментом – резцом.

Повышение производительности при фрезеровании достигается также увеличением количества одновременно обрабатываемых заготовок, количества одновременно работающих режущих инструментов, сокращением продолжительности рабочих и холостых ходов обрабатываемой заготовки и инструмента.

Основными способами фрезерования, обеспечивающими повышение производительности обработки, являются:

– *параллельное*, т. е. одновременное, фрезерование нескольких заготовок или нескольких поверхностей одной заготовки. Это может быть осуществлено установкой на одной оправке соответствующего числа цилиндрических, дисковых и фасонных фрез или торцевых фрез на различных шпинделях с помощью одной торцевой фрезы большего диаметра или одной цилиндрической фрезы достаточной длины.

При таком фрезеровании резко сокращается трудоемкость обработки вследствие совмещения машинного времени отдельных переходов и уменьшения вспомогательного времени;

– *последовательное* фрезерование нескольких заготовок, установленных в ряд на столе станка (или нескольких поверхностей одной заготовки), по мере их подвода к фрезе в процессе рабочего движения стола станка. В этом случае резко сокращается вспомогательное время, так как оно перекрывается машинным временем;

– *параллельно-последовательное* фрезерование, при котором одновременную обработку нескольких заготовок (или нескольких поверхностей одной заготовки), установленных в один или несколько рядов на столе станка, комбинируют с последовательной обработкой. Применение этого способа наряду со снижением трудоемкости, благодаря сокращению вспомогательного времени, позволяет резко снизить машинное время;

– *фрезерование на поворотных столах и приспособлениях*. В этом случае трудоемкость обработки уменьшается вследствие совмещения большей части вспомогательного времени с машинным, так как снимают

обработанную заготовку и устанавливают новую во время фрезерования детали на другой позиции стола или в приспособлении;

– *фрезерование с подачей в обе стороны* (маятниковая подача). Этот способ обработки является разновидностью предыдущего. Его применяют для небольших поверхностей длинных заготовок, для которых применение поворотных устройств затруднено;

– *непрерывное* фрезерование заключается в том, что обрабатываемые заготовки устанавливают на круглом непрерывно вращающемся столе или в барабанном устройстве и фрезеруют торцевыми фрезами, установленными на шпинделях станка. При таком фрезеровании штучное время может быть очень близким или равным машинному времени. Обработка плоскостей торцевыми фрезами в серийном и массовом производстве все больше вытесняет фрезерование цилиндрическими фрезами, так как этот способ более производительен, а также позволяет осуществлять обработку заготовок значительной ширины при жестком креплении инструмента. Кроме того, повышается чистота поверхности. Точность фрезерования зависит от типа станка, режущего инструмента, режимов резания и других факторов. В обычных условиях точность обработки при фрезеровании достигает 3 – 4-го классов, а при скоростном и тонком фрезеровании – 2-го класса.

Плоское шлифование применяют в качестве чистовой операции после строгания или фрезерования плоскостей для достижения высокой точности и чистоты обрабатываемой поверхности, а также для окончательной обработки плоскостей заготовок из закаленной стали.

В ряде случаев плоское шлифование может быть более рациональным, чем фрезерование, особенно при обработке твердых материалов, наличии твердой корки или небольших припусков на обработку.

Протягивание наружных контуров является более производительным методом, чем строгание и фрезерование при одновременном обеспечении высокой точности и чистоты обрабатываемой поверхности.

Точность и чистота обрабатываемой поверхности при протягивании обуславливаются в основном весьма малым влиянием упругих деформаций на процесс резания, малой толщиной стружки и низкими скоростями резания. При выборе этого вида обработки необходимо учитывать, что себестоимость протяжных работ в значительной степени зависит от величины затрат на изготовление и заточку протяжек, а также на приобретение протяжного оборудования.

Для отделочных операций применяют обработку с использованием абразивов – *доводку, притирку и полирование*. Кроме того, для окончательной отделки поверхностей применяют *шабрение*. Обработка плоских поверхностей с применением абразивов производится аналогично отделке наружных поверхностей вращения.

Притирка требует очень точной предварительной обработки поверхности, так как большой припуск на притирку приводит к увеличению времени обработки и быстрому изнашиванию притира. Припуск для притирки плоских поверхностей назначают в пределах 8 – 18 мкм.

Шабрение можно выполнять с помощью шабера вручную или механическим способом. Первый способ требует большой затраты времени при высокой квалификации исполнителя, но обеспечивает высокую точность. Второй – осуществляется с помощью специальных станков, на которых шабер получает возвратно-поступательное движение. При этом способе требуется меньше времени, однако его нельзя применить для отделки сложных поверхностей, что ограничивает область применения.

6.2. Обработка на строгальных и долбежных станках

Обработку строганием производят резцами, сходными по форме с токарными, на строгальном станке. Однако в отличие от токарной обработки строгание выполняют прерывисто со снятием стружки при поступательно-прямолинейном движении заготовки или резца.

Универсальные строгальные станки подразделяют на продольно- и поперечно-строгальные. В первом случае главное рабочее движение сообщается заготовке, во втором – резцу. Имеются специализированные строгальные станки – кромкострогальные, копировально-строгальные и др.

Продольно-строгальные станки подразделяют на одностоечные, двухстоечные и порталные.

Длина столов продольно-строгальных станков зависит от их назначения и может достигать до 12 – 15 м. Стол может двигаться с помощью реечных передач или гидравлических устройств. В последнем случае можно достигнуть более высокой скорости хода стола и более плавного реверсирования, чем при механических приводах.

У поперечно- и продольно-строгальных станков резцедержатель вместе с резцом может поворачиваться в вертикальной плоскости при обратном ходе.

Для установки резца по высоте суппорт с резцедержателем можно перемещать в вертикальном направлении. Для обработки наклонных поверхностей суппорт может быть повернут на требуемый угол.

Движение ползуна осуществляется от гидросистемы или с помощью кулисного механизма. Скорость поступательного движения ползуна является величиной, переменной по длине хода, причем скорость обратного хода для повышения производительности в 1 – 2 раза больше скорости рабочего хода.

На строгальных станках чаще всего обрабатывают плоскости. На крупных продольно-строгальных станках, снабженных несколькими суппортами, можно строгать плоскости заготовки одновременно с нескольких сторон при одной установке ее на столе станка. Наиболее характерные виды работ, выполняемые на строгальных и долбежных станках, показаны на рис. 6.1.

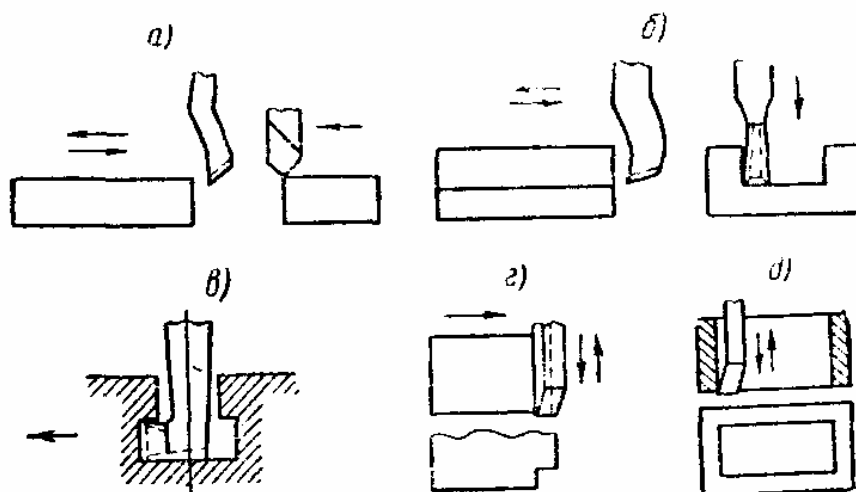


Рис. 6.1. Виды обработки на строгальных и долбежных станках:
a – строгание плоскости; *б* – строгание паза; *в* – строгание Т-образного паза;
г – долбление углового профиля; *д* – долбление прямоугольного отверстия

На долбежных станках резец при долблении совершает только возвратно-поступательное движение в вертикальном направлении, а движение подачи осуществляется заготовкой, которая может перемещаться как в продольном, так и в поперечном направлении, а также совершать вращательные движения.

Долбежные станки чаще всего применяют для долбления шпоночных пазов, канавок, профильных отверстий других работ.

6.3. Обработке на фрезерных станках

На фрезерных станках можно обрабатывать плоскости, фасонные и винтовые поверхности, нарезать зубчатые колеса и выполнять другие работы.

В зависимости от назначения фрезерные станки подразделяют на одношпиндельные – горизонтальные и вертикальные и одношпиндельные универсально-фрезерные горизонтальные. Имеются, кроме того, специализированные и специальные фрезерные станки.

К специализированным фрезерным станкам относятся: продольно-фрезерные с расположением шпинделей в различных плоскостях; торцово-фрезерные для обработки плоскостей; карусельно-фрезерные с вращающимися столами; барабанно-фрезерные с вращающимся барабаном и копировально-фрезерные для обработки фасонных поверхностей.

К специальным станкам относятся резьбофрезерные, шпоночно-фрезерные, агрегатно-фрезерные и речные.

В одношпиндельном горизонтально-фрезерном станке шпиндель расположен горизонтально; в вертикально-фрезерном станке – вертикально, в остальном устройство станка принципиально не отличается от горизонтально-фрезерного. Вертикально-фрезерные станки снабжают как прямоугольными, так и круглыми столами.

Универсально-фрезерные станки отличаются от описанных тем, что они имеют поворотный стол, который позволяет выполнять операции по фрезерованию винтовых канавок (например, у спиральных сверл) и зубчатых колес с винтовыми зубьями.

Продольно-фрезерный станок является характерным для группы специализированных фрезерных станков. Такие станки изготавливают с одним или несколькими вертикальными и горизонтальными шпинделями, в последнем случае заготовку можно обрабатывать одновременно с нескольких сторон. На рис. 6.2, *a* показан общий вид четырехшпиндельного продольно-фрезерного станка. По направляющим станины 1 может перемещаться стол 2, на котором закрепляют заготовки. Обработку выполняют фрезами, установленными в шпинделях, находящихся в шпиндельных бабках 3, 5, 6 и 7. Так как стол не может подниматься или перемещаться в поперечном направлении, то, чтобы получить требуемые размеры при обработке, инструмент устанавливают выдвиганием шпинделей вдоль их оси и перемещением шпиндельных бабок 5 и 6 по направляющим поперечины 4 перпендикулярно осям шпинделей этих бабок.

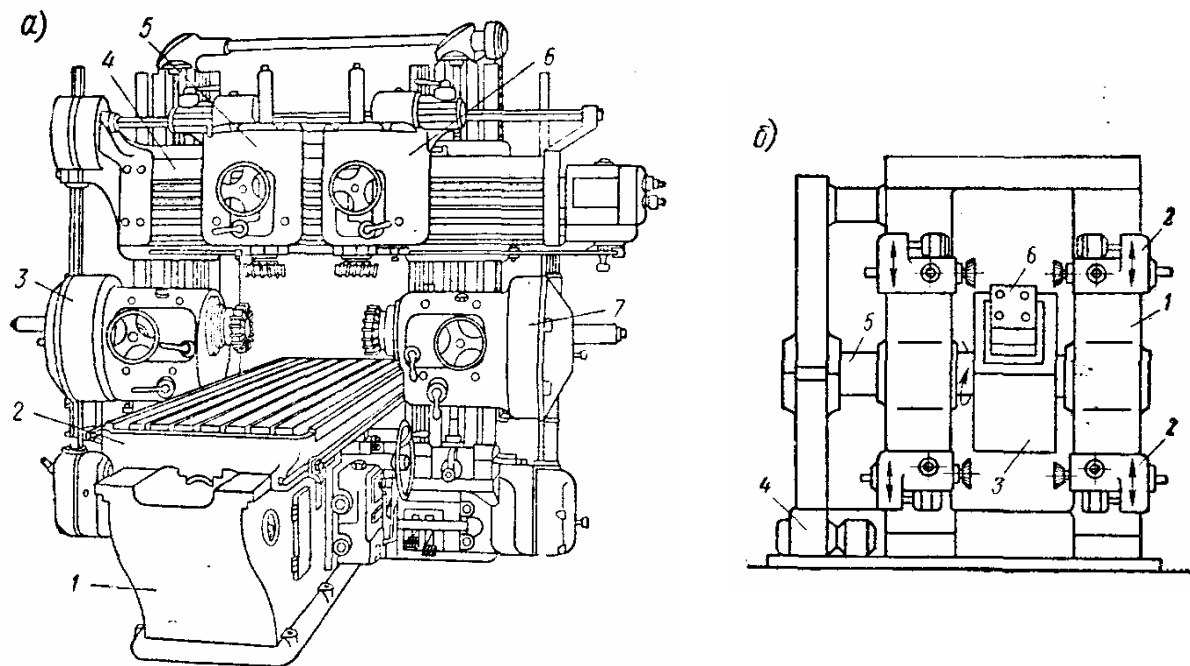


Рис. 6.2. Общие виды фрезерных станков:
а – четырехшпиндельный продольно-фрезерный станок;
б – барабанно-фрезерный станок

Барабанно-фрезерные станки относятся к группе непрерывно действующих станков. Они имеют преимущественное распространение в крупносерийном и массовом производствах. На таких станках может производиться одновременная обработка двух плоскостей заготовок. На рис. 6.2, *б* приведена схема общего вида станка. На станине, имеющей форму прямоугольной рамы, смонтированы основные узлы станка. На валу 5, проходящему через раму станины, смонтирован барабан 3, имеющий форму правильного четырехугольника (а иногда пяти- и шестиугольника) на гранях которого установлены приспособления 6 для закрепления детали. Вал вместе с барабаном 3 вращается от отдельного привода 4. Скорость вращения барабана может регулироваться коробкой подач, помещенной в корпусе станины. На двух стойках 1 размещены фрезерные головки 2, которые представляют собой самостоятельные узлы с индивидуальными приводами. Фрезерные головки могут перемещаться на стойках и закрепляться в любом положении согласно настройке станка. Для регулирования глубины фрезерования шпиндели, кроме вращательного движения, имеют поступательное движение по направлению оси вращения. Производительность станка зависит от количества одновременно обрабатываемых заготовок и скорости вращения барабана.

На фрезерных станках плоские поверхности можно обрабатывать цилиндрическими фрезами при движении стола станка с закрепленной заготовкой навстречу направлению вращения фрезы, т. е. методом *встречного фрезерования* (рис. 6.3, а) или в том же направлении методом *попутного фрезерования* (рис. 6.3, б).

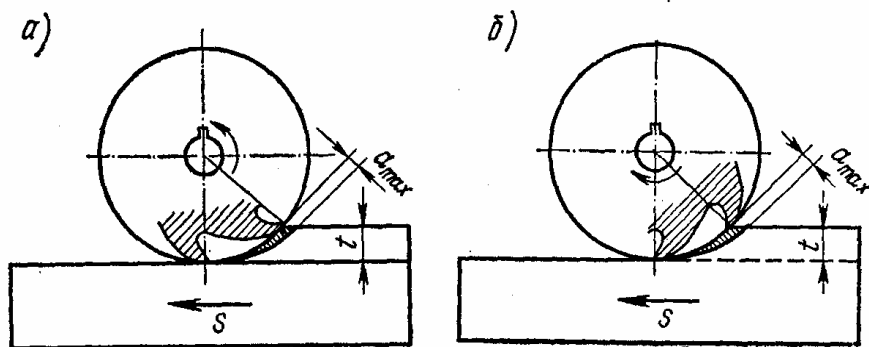


Рис. 6.3. Методы фрезерования

В обоих случаях стружка, снимаемая каждым зубом фрезы, имеет форму запятой, но в первом случае толщина стружки постепенно увеличивается в процессе резания, а во втором – уменьшается.

Преимущество встречного фрезерования заключается в плавном увеличении нагрузки на зуб и во врезании зубьев в металл под коркой. Недостатком этого метода является стремление фрезы оторвать заготовку от поверхности стола.

Точность фрезерования зависит от типа станка, инструмента, режимов резания и других факторов. При фрезеровании может быть достигнута точность в пределах 3 – 4-го классов, а при скоростном и тонком фрезеровании – до 2-го класса. На рис. 6.4. приведены различные виды обработки на фрезерных станках.

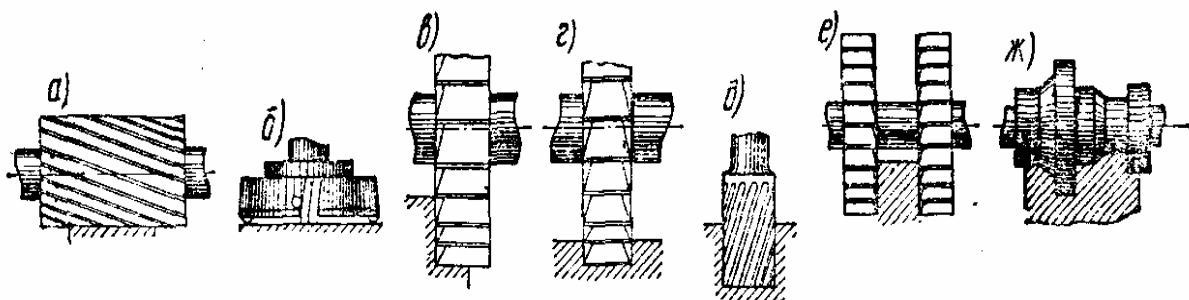


Рис. 6.4. Различные виды обработки на фрезерных станках:

а – обработка плоскости цилиндрической фрезой; б – обработка плоскости торцевой фрезой; в, г – обработка вертикальной плоскости и паза дисковой трехсторонней фрезой; д – обработка паза концевой фрезой; е – обработка боковых плоскостей двумя торцевыми фрезами; ж – обработка сложного профиля набором фрез

Фрезы представляют собой тела вращения, на торце или боковой поверхности которых имеются режущие зубья. Их классифицируют по технологическим и конструктивным признакам. Фрезы подразделяются на *цилиндрические и фасонные* (если режущая часть фрезы имеет форму обработанной поверхности).

Торцевые фрезы с зубьями, нарезанными на торце, жестко крепятся в шпинделе станка, что позволяет им выдерживать большую нагрузку и работать на жестких режимах с большей производительностью. Благодаря этому они широко применяются при обработке плоскостей.

Для обработки пазов канавок и прорезей применяют *дисковые, пазовые и шлицевые* фрезы с заданной шириной зуба, а для обработки торцевых плоскостей и фигурных контуров – фрезы с заданным диаметром.

Номенклатура фрез очень большая. Кроме указанных видов, имеются широко применяемые *угловые и двухугловые* фрезы, *трехсторонние, отрезные, фасонные, концевые* с зубьями, нарезанными на боковой поверхности и торце, и др.

Концевые фрезы применяют для обработки по копиру фасонных поверхностей, а также для выборки фасонных пазов (например, в форме ласточкина хвоста).

По конструкции различают *цельные и составные* (наборные) фрезы, последние применяют для обработки сложных профилей.

Особое место занимают *зуборезные* фрезы (для нарезания зубчатых колес) – *модульные и червячные*.

По форме зубьев фрезы можно подразделить на две группы: с *остроконечными зубьями* и заточкой по задней поверхности; с *затылованными зубьями* и заточкой по передней поверхности.

Профиль затылованных зубьев остается неизменным после переточек, что особенно важно при обработке фасонных поверхностей.

На рис. 6.5 показаны фрезы различных видов. Цилиндрические фрезы (рис. 6.5, *а, б, в*), как правило, имеют винтовые зубья, так как наклон канавки смягчает неравномерность резания, а при сдвоенных фрезах, с правым и левым направлением винтовых канавок, силы резания взаимно уравновешиваются.

Торцевые фрезы могут быть цельные и насадные. На рис. 6.5, *г* и *д* показаны два типа насадных торцевых фрез, причем одна из них (рис. 6.5, *д*) – сборной конструкции. Обычно фрезы диаметром свыше 75 мм с целью экономии инструментальной стали делают сборными.

Дисковые фрезы (рис. 6.5, *е*) изготавливают как с мелким, так и с крупным зубом. Такие фрезы могут быть выполнены сборными с встав-

ными режущими пластинками. Многие из приведенных типов фрез оснащают режущими пластинами из твердых сплавов (сборной конструкции с вставными пластинами и с пластинами, припаянными к корпусу).

У фрез сборной конструкции крепление ножей с пластинками из твердого сплава осуществляется коническими штифтами, клиновидными сухарями и т. п.

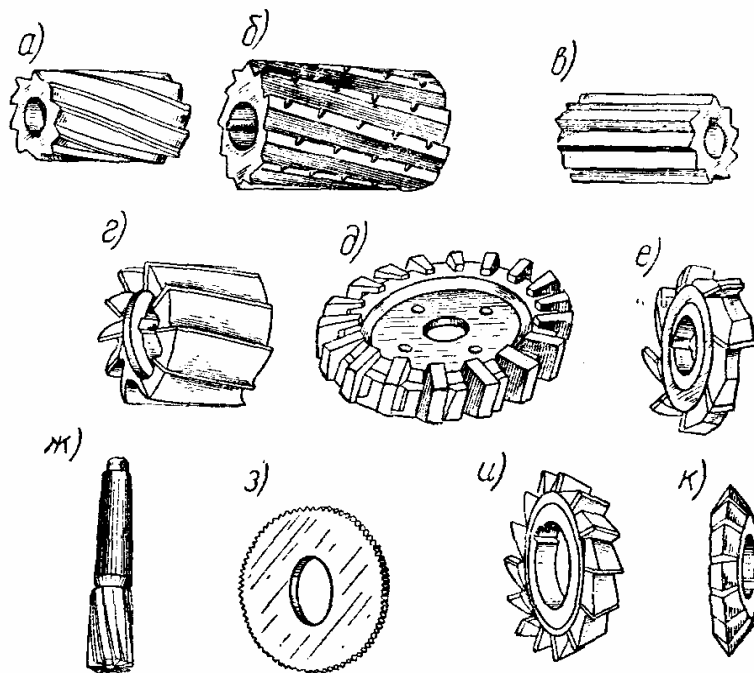


Рис. 6.5. Виды фрез:

a – цилиндрическая фреза с винтовым зубом; *б* – цилиндрическая фреза с поперечными канавками на винтовых зубьях; *в* – цилиндрическая фреза с прямым зубом; *г* – торцевая фреза насадная цельная; *д* – торцевая фреза – насадная со вставными зубьями; *е* – дисковая пазовая фреза; *ж* – концевая фреза; *з* – шлицевая фреза; *и* – одноугловая фреза; *к* – двухугловая фреза

На рис. 6.5, *ж*, *з*, *и*, *к* показаны наиболее распространенные типы концевых, шлицевых и угловых фрез.

При работе фрезы, чтобы улучшить отвод стружки, изменяют угол наклона винтового зуба (до 30° и выше) и количество зубьев, а также увеличивают объем стружечного пространства между зубьями.

Основными видами вспомогательных инструментов для закрепления фрез являются оправки центровые и концевые, а также цанговые патроны.

Центровые оправки применяют для установки фрез на горизонтально-фрезерных и универсальных станках. При креплении фрез на оправке с обеих сторон фрезы устанавливают калиброванные по ширине кольца, а затем затягивают их гайками в осевом направлении.

Концевые оправки служат для установки фрез на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках. Такие оправки устанавливают хвостовой частью в коническое отверстие пустотелого шпинделя станка и затягивают сквозным болтом через шпиндель. Фрезу удерживают на оправке шпонкой и закрепляют винтом.

Для закрепления фрез с цилиндрическим хвостовиком применяют цанговые патроны.

6.4. Обработка на шлифовальных станках

Плоскости шлифуют периферией или торцом шлифовального круга. На рис. 6.6 приведены различные схемы шлифования плоскостей.

Периферией круга можно шлифовать при возвратно-поступательном движении стола станка с обрабатываемой заготовкой (рис. 6.6, а).

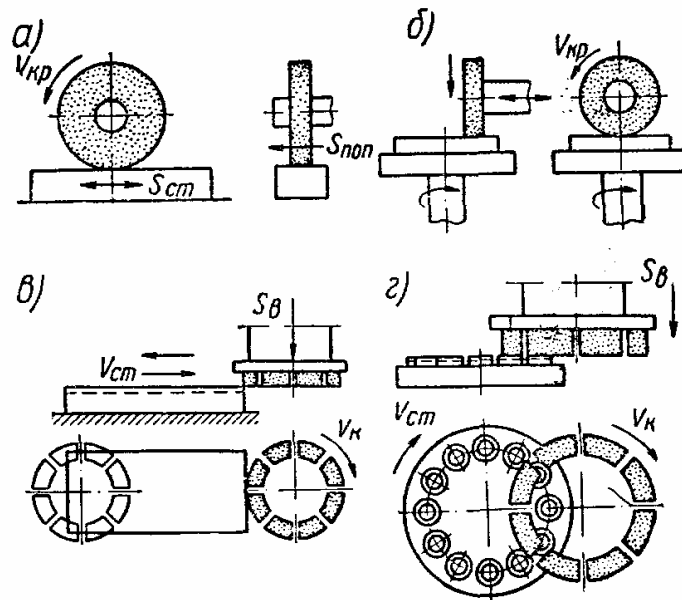


Рис. 6.6. Основные схемы шлифования плоскостей:

а – периферией круга при возвратно-поступательном движении стола станка с обрабатываемой заготовкой; б – при закреплении обрабатываемой заготовки на вращающемся столе; в и г – торцом круга по той же схеме при поступательном и вращательном движениях

Шлифовальный круг при этом совершает вращательное движение и движение поперечной подачи на каждый двойной ход стола, а также радиальную подачу для перемещения его на глубину шлифования.

Шлифование периферией круга можно производить и при закреплении обрабатываемой заготовки на круглом вращающемся столе (рис. 6.6, б). В этом случае шлифовальный круг совершает вращательное и од-

новременно возвратно-поступательное движение параллельно шлифуемой поверхности.

Шлифование плоскостей торцом круга выполняют как при поступательном движении обрабатываемой заготовки (рис. 6.6, *б*), так и при ее вращении (рис. 6.6, *з*).

Фасонные поверхности шлифуют обычно специально заправленными шлифовальными кругами.

6.5. Обработка на протяжных станках

Плоские поверхности протягивают, как правило, сразу по всей ширине, поэтому зуб протяжки делают несколько шире, чем протягиваемую поверхность. Протягивание выполняют одновременно многими зубьями протяжки с таким расчетом, чтобы весь припуск металла был снят за один проход протяжки, причем припуск должен быть распределен равномерно между зубьями протяжки. Это обеспечивает большую производительность при минимальном машинном времени.

При протягивании необработанных поверхностей отливок и поковок обычными плоскими протяжками их режущие кромки быстро тупятся и даже выкрашиваются. В этих случаях применяют протягивание, при котором режущие кромки протяжки, расположенные наклонно по отношению к направлению ее движения, срезают металл не по всей ширине обрабатываемой поверхности, а узкими полосами, снимая стружки толщиной 0,4 – 0,8 мм на один зуб, а калибрующие зубья зачищают обрабатываемую поверхность по всей ширине.

Величина припусков при наружном протягивании зависит от того, ведется обработка протягиванием по необработанным поверхностям (литье, ковка) или производится по предварительно обработанным поверхностям (фрезерование, строгание). В первом случае припуск на сторону принимается от 2 до 6 мм, во втором – от 0,25 до 1 мм.

Большое разнообразие видов протягивания плоских поверхностей послужило причиной создания различных конструкций протяжных станков, из которых наиболее распространенными являются: вертикальные, горизонтальные, карусельные и протяжные станки туннельного типа.

На рис. 6.7 приведена схема вертикально-протяжного станка для наружного протягивания. Станина 5 имеет коробчатую форму; в полую часть ее помещен электропривод 6 с агрегатами гидропривода. На станине 5 по направляющим перемещается подвижная плита 3, на которой крепятся плоские протяжки 4. Подвижная плита перемещается возвратно-поступательно с разной скоростью, регулируемой гидроприводом. Длину и

скорость рабочего хода плиты устанавливают в зависимости от выполняемой работы. Обратный ход плиты ускоренный.

На передней части станины имеется стол 7, на котором установлен суппорт 1, поперечно перемещающийся для установки глубины протягивания. На суппорте закрепляют обрабатываемую заготовку 2. После регулирования суппорта на определенную глубину протягивания на него устанавливают обрабатываемую заготовку и закрепляют ее. Протяжки, опускаясь, обрабатывают заготовку и в конце обработки останавливаются в нижнем положении. Затем заготовку снимают и включают обратный ход протяжки. После возвращения протяжек в исходное положение в суппорт устанавливают новую заготовку. Далее цикл работы повторяется в том же порядке.

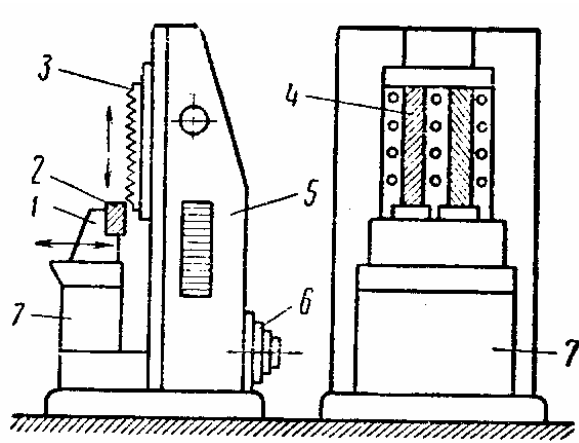


Рис. 6.7. Схема вертикально-протяжного станка для наружного протягивания

На рис. 6.8 приведена схема протяжного станка непрерывного действия. На станине 2 коробчатой формы смонтирована непрерывно движущаяся цепь 4, на которой размещены приспособления 1 для установки и закрепления обрабатываемых заготовок 3.

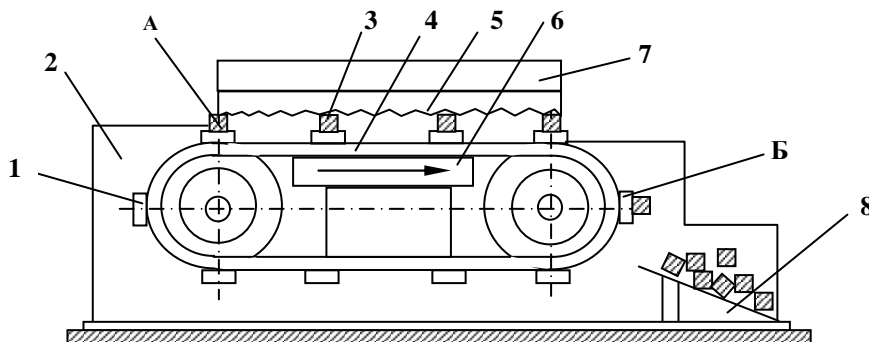


Рис. 6.8. Схема горизонтально-протяжного станка непрерывного действия

На станине сверху установлен суппорт 7, с внутренней стороны которого закреплена протяжка 5. Под цепью 4, в зоне прохождения заготовки под протяжкой установлены жесткие направляющие 6, обеспечивающие параллельное перемещение цепи и снятие определенного припуска.

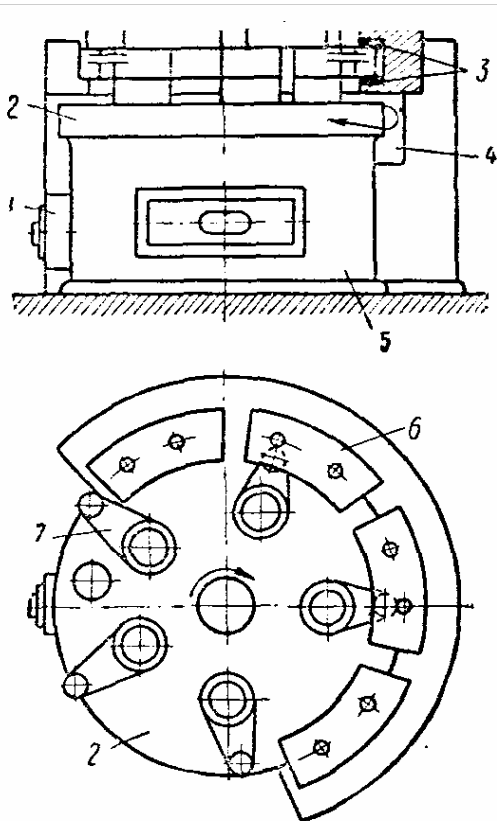


Рис. 6.9. Схема карусельно-протяжного станка

от режима протягивания. Вокруг стола на жестком полукруглом суппорте 4 установлены четыре секционных держателя 6, в прорезях которых закреплены протяжки 3.

На столе 2 установлены в приспособлениях заготовки 7. При вращении стола заготовки протягивают между протяжками 3 последовательно через все держатели (секции) 6.

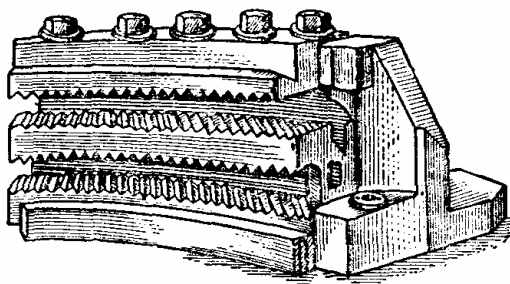


Рис. 6.10. Общий вид держателя (секции) с протяжками

освобождают от зажима и удаляют через загрузочное отверстие, а протяжка возвращается в исходное положение [2, 3].

Обрабатываемую заготовку устанавливают в приспособление на загрузочной позиции А. Заготовку закрепляют вручную или автоматически. Заготовки, установленные и закрепленные на движущейся цепи, проходят зону протягивания между протяжной и направляющей плитой и после протягивания поступают с разгрузочной позиции В в бункер 8 станка.

Стороны заготовки, а также поверхности, очерченные радиусом круга, можно одновременно обрабатывать с двух сторон на карусельно-протяжных станках непрерывного действия (рис. 6.9).

На направляющих круглой станины 5 вращается стол 2. В станине установлен механизм вращения стола, приводимый в движение от электродвигателя 1. Скорость стола регулируется в зависимости

Общий вид держателя (секции) с протяжками показан на рис. 6.10.

При протягивании больших плоскостей применяют протяжные станки туннельного типа, принцип действия которых заключается в следующем: после закрепления обрабатываемой заготовки на столе станка ее поднимают на установленную высоту. На заготовку надвигается протяжка и обрабатывает ее. После обработки заготовку опускают, освобождают от зажима и удаляют через загрузочное отверстие, а протяжка возвращается в исходное положение [2, 3].

7. ОБРАБОТКА СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

7.1. Виды сложных поверхностей и их классификация

В конструкциях современных турбин, автомобилей, металлорежущих станков, самолетов, механизмов и т. п. применяют детали сложной формы.

Использование в деталях поверхностей сложной формы обусловлено назначением и требованиями выполняемой детали, узлом или машиной рабочего процесса (например, придание рабочему колесу турбины в сечении формы равного сопротивления), необходимостью повышения КПД энергетических и силовых установок (например, формы лопастей водяных и паровых турбин, гребных винтов и т. п.), а также необходимостью осуществления заданного движения в машине или механизме (применение кулачков в распределительных валах двигателей, кинематических цепях станков и т. п.).

На рис. 7.1 приведены характерные виды деталей со сложными поверхностями.

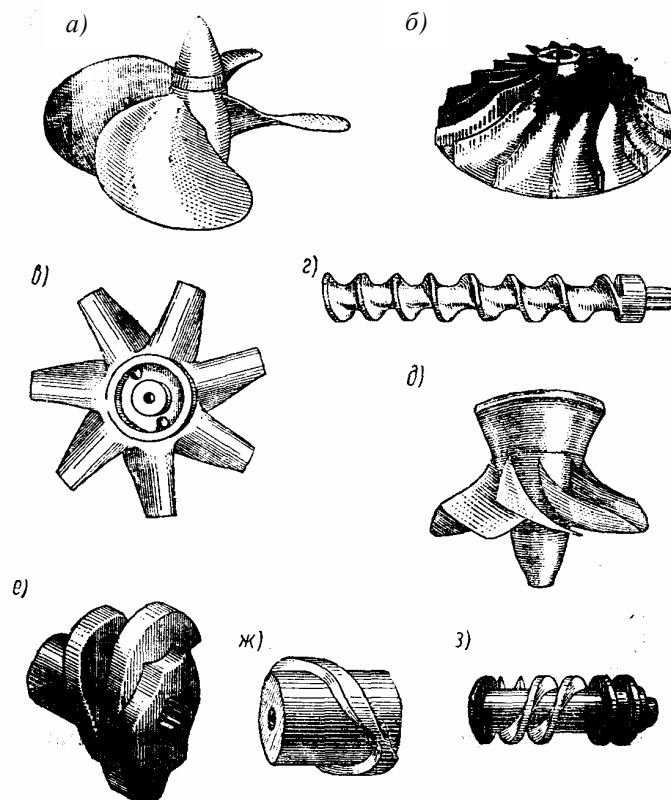


Рис. 7.1. Виды деталей со сложными поверхностями:
а – гребной винт; *б* – крыльчатка; *в* – колесо насоса; *г* – винт с переменным шагом; *д* – колесо водяной турбины; *е* – дисковый кулачок; *ж* – цилиндрический кулачок; *з* – блок из кулачков

В технике применяют разнообразные поверхности, однако наиболее распространенными являются три вида поверхности: 1) поверхности, подчиненные математическим уравнениям определенной формы и с определенным расположением в пространстве, называемые алгебраическими; 2) поверхности, форма которых определена отдельными точками, а координаты этих точек заданы в виде числовых отметок, обычно сведенных в таблицу, называемые поверхностями с числовыми отметками; 3) поверхности, форма которых определяется конструктивной необходимостью, называемые конструктивными.

Алгебраические поверхности подразделяют на линейчатые, нелинейчатые и винтовые.

Поверхности с образующей в виде прямой линии называются *линейчатыми*. В свою очередь линейчатые поверхности подразделяются на два вида: развертываемые и неразвертываемые. К *развертываемым* относятся цилиндрические и конические поверхности. К *неразвертываемым* поверхностям относятся конусоиды, коноиды и различные гиперболоиды и параболоиды.

Поверхности с образующей в виде кривой линии называются *нелинейчатыми*. К ним относятся поверхности второго порядка (шаровидные, сфероидальные и т. п.).

Поверхности, образованные сочетанием двух движений образующей, расположенной под некоторым углом к оси, вращением ее вокруг оси с одновременным поступательным перемещением вдоль оси, называют *винтовыми*.

Поверхности с числовыми отметками применяют при необходимости задавать форму поверхности исходя из физических условий ее работы. К ним относятся профили лопаток паровых, газовых и водяных турбин, гребных винтов и др.

Конструктивные поверхности классифицировать невозможно, так как они зависят от конструктивной необходимости. Такие формы иногда встречаются в сочетании с поверхностями алгебраическими или поверхностями с числовыми отметками.

Различают также переходные поверхности, к которым относятся, например, поверхности перехода от ступицы к лопасти в гребных винтах, от хвостовой части к рабочей в лопатке турбины и т. п.

7.2. Методы обработки сложных поверхностей

Сложные поверхности можно обрабатывать различными методами: с помощью копиров, с использованием настроенных кинематических цепей, с применением так называемых строителей, а также при сочетании различных методов обработки.

Копиры представляют собой ведущую деталь копировального устройства, очертание которой определяет траекторию движения режущего инструмента, соответствующую профилю обрабатываемой поверхности.

Системы управления процессом копирования подразделяют на системы прямого и непрямого действия.

При *прямом действии* контакт копировального ролика (пальца) и копира обеспечивается весом груза, силой гидравлического давления или силой сжатия пружины.

При системе *непрямого действия* копировальный ролик находится в соприкосновении с копиром под действием незначительной силы, измеряемой сотнями или даже десятками граммов. В этой системе копировальный ролик является промежуточным подвижным элементом, незначительные перемещения которого, измеряемые в сотых или десятых долях миллиметра, в виде команд передаются в специальные усилительные устройства, которые воздействуют на исполнительные механизмы и перемещают режущий инструмент и обрабатываемую заготовку.

На рис. 7.2, *а* приведена схема копировальной обработки по системе прямого действия с механическим управлением. Стол 9 перемещается ходовым винтом 8 от редуктора 7. На столе 9 установлен копир 1 и заготовка 10. При движении стола палец 2 совместно с бабкой 3 под действием копира 1 сжимает пружину 4 и перемещается в вертикальном направлении по стойке 5. Фреза 6, имеющая форму и размеры пальца 2, при перемещении совместно с бабкой обрабатывает заготовку, придавая ей форму копира. Работа пружины 4, сила которой больше, чем вертикальная слагающая от силы резания на фрезе, обеспечивает постоянный контакт между пальцем и копиром.

На рис. 7.2, *б* показана схема копирования по системе непрямого действия с гидравлическим, пневматическим или электронным управлением. Стол 12 с копиром 14 и заготовкой 13 перемещается от редуктора в корпусе 2 через ходовой винт 11 редуктора 10. При этом палец 1 под действием копира 14 перемещается в корпусе 2, соединенном с бабкой 5. Пружина 3 обеспечивает постоянный контакт между пальцем и копиром. Незначительное перемещение пальца, как элементарную команду управления, можно увеличить, используя электронные, гидравлические, пневматические или другие устройства. Это усиление происходит в аппарате 4, который затем сообщает команду двигателю 6; последний через редуктор и ходовой винт 7 перемещает по стойке 8 бабку 5. Соответственно фреза 9 обрабатывает заготовку по профилю копира.

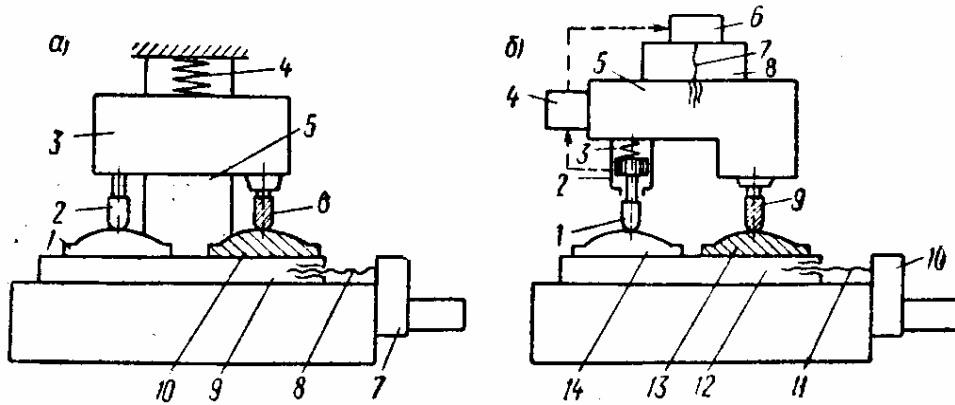


Рис. 7.2. Принципиальные схемы копирования

Системы прямого действия обычно применяют на копируемых станках с механическим или ручным управлением, а системы непрямого действия – на копируемых станках с электронным, гидравлическим или пневматическим управлением.

Применение настроенных кинематических цепей основано на том положении, что кинематическая цепь, связывающая вращение режущего инструмента или обрабатываемой заготовки с другим перемещением инструмента или заготовки, обеспечивает получение заготовки определенной формы.

Примерами обработки с помощью настроенных кинематических цепей являются нарезание резьб, обработка червяков, спиралей и зубонарезание.

Сложные поверхности обрабатывают методом настройки и методом обкатки с использованием настроенных кинематических цепей.

На рис. 7.3 приведены примеры обработки поверхностей штампа радиальным фрезерованием методом настройки.

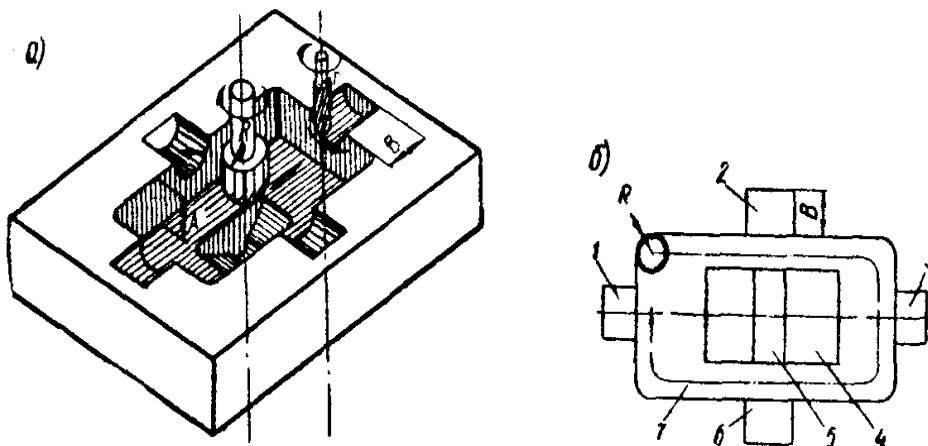


Рис. 7.3. Обработка штампа радиальным фрезерованием методом настройки

Вначале торцевой фрезой радиуса R обрабатывают поверхность 7 (рис. 7.3, б) на глубину A (рис. 7.3, а) и по разметке проходят по периметру прямоугольника, обозначенного стрелками; затем в четырех местах 1, 2, 3, 6 (рис. 7.3, б) обрабатывают заготовку концевой фрезой по радиусу R (рис. 7.3, а) на длину B . После фрезерования полуцилиндра 2 перемещают заготовку и обрабатывают полуцилиндр 6; затем поворачивают заготовку на 90° и обрабатывают полуцилиндры 1 и 3. В дальнейшем фрезеруют поверхности 4 и 5.

Отсутствие конусных линеек на токарных станках не препятствует обработке конусов. Использование настроенных кинематических цепей позволяет посредством несложного приспособления обрабатывать конусы, особенно с малыми углами при вершине. Для этого достаточно (рис. 7.4) установить на винт суппорта 7 поперечной подачи вместо маховика барабанчик 5 и, прикрепив к его поверхности гибкий металлический трос 2, намотав один конец троса на поверхность барабанчика; другой конец троса надо закрепить в неподвижном упоре 1, прикрепленном к станине станка.

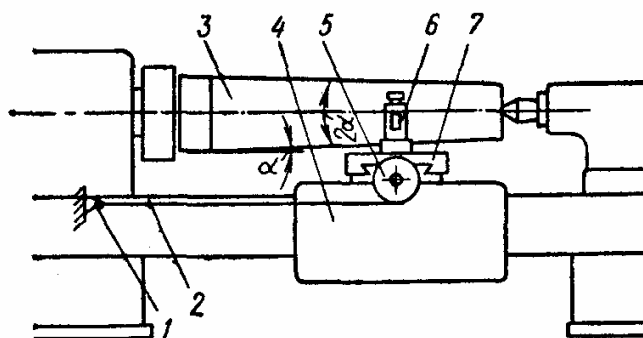


Рис. 7.4. Схема обработки конуса методом настройки

При продольном перемещении слева направо суппорта 4 продольной подачи (от ходового винта) барабанчик благодаря натяжению троса начнет поворачиваться и вращать ходовой винт поперечной подачи. Резец 6 будет обрабатывать на заготовке 3 конус с углом α .

При обработке по методу обкатки осуществляется сочетание движения режущего инструмента и обрабатываемой заготовки. В этом случае необходимо обеспечить определенную скорость вращения фасонного режущего инструмента, длина средней окружности которого представляет длину обкатываемого участка, например, при точении. Наиболее широкое применение методы обкатки получили при обработке заготовок на токарных, фрезерных и долбежных станках.

При работе по методу обкатки заготовка, подлежащая обработке, вращается, а ось режущего инструмента движется равномерно вдоль оси заготовки. При такой схеме работы профиль режущего инструмента представляет собой огибающую последовательных положений профиля обрабатываемой заготовки при качении начальной ее прямой по начальной окружности инструмента.

Этот метод обработки имеет следующие преимущества:

1) применение этого способа не ограничивается формой образующей обрабатываемой заготовки;

2) улучшаются условия врезания инструмента (режущая кромка инструмента находится в зацеплении незначительное время);

3) профиль заготовки формируется не путем усложнения станка, а за счет формы режущего инструмента;

4) упрощаются обслуживание и настройка станка.

Недостатками этого метода являются: сложность проектирования и изготовления инструмента, в ряде случаев трудность обработки переходных кривых в местах соприкосновения профилей между собой.

Применяемые при обработке по методу обкатки фасонные резцы обеспечивают постоянство формы профиля, а также точность размеров обрабатываемых заготовок и допускают большее количество переточек.

Режущая кромка фасонного резца имеет формы профиля обрабатываемой заготовки, что позволяет обрабатывать как прямолинейные, так и криволинейные участки профиля, объединяя в одном переходе несколько переходов и операций.

Фасонные резцы подразделяют по конструкции, расположению оси, форме образующей поверхности и установке.

По конструкции фасонные резцы (рис. 7.5) бывают дисковыми (рис. 7.5, *a*), призматическими (рис. 7.5, *б*) и стержневыми (рис. 7.5, *в*). Их устанавливают относительно заготовки в радиальном и тангенциальном направлениях с параллельным и наклонным расположением оси резца относительно оси заготовки.

По форме образующей поверхности различают фасонные резцы: круглые с кольцевыми или винтовыми образующими и призматические с плоскими образующими.

Профиль фасонного резца рассчитывают графическим или аналитическим методом. Графический метод применяют при расчете фасонных резцов, предназначенных для обработки заготовок криволинейной формы

невысокой точности, а аналитический метод – при расчете резцов, предназначенных для обработки точных заготовок.

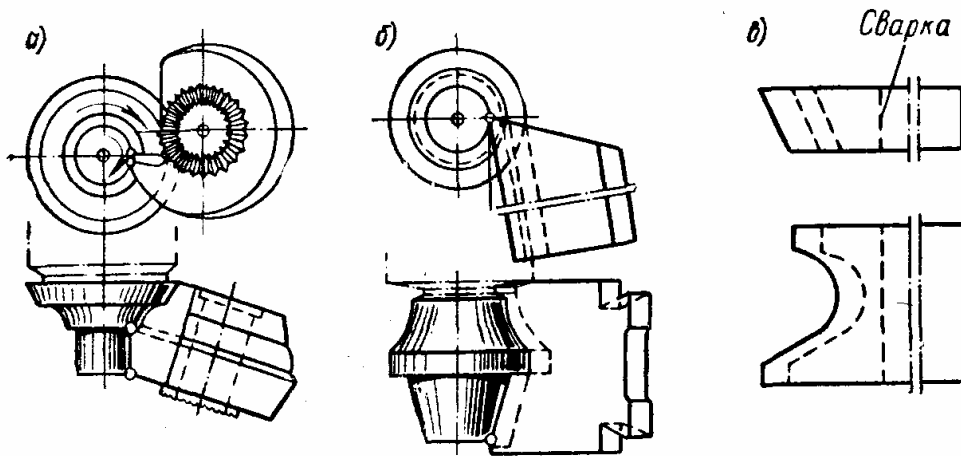


Рис. 7.5. Виды фасонных резцов

Построителями называются копиры, выполненные в виде отдельных механизмов. Они помогают получать отрезки или замкнутые точные кривые, воспроизведение которых по обычным копирам менее точно или значительно дороже.

По видам построители делят на три группы: 1) построители в виде механизмов, воздействующих на копировальное устройство; 2) построители в виде механизмов, воздействующих непосредственно на исполнительное устройство; 3) электрические построители.

На рис. 7.6 приведена схема обработки отверстия большого диаметра на копировально-фрезерном станке с помощью несложного построителя.

На столе 1 станка устанавливают заготовку 2. На оси 4, закрепленной в корпусе 3 приспособления, вращается подвижная линейка 5, в которой имеется продольная прорезь с делениями; на одном конце расположено отверстие, в которое вводят копировальный палец 6, а на другом – противовес, обеспечивающий переход через «мертвые» положения (на рисунке не показан). Под действием противовеса линейка, стремясь повернуться вокруг центра вращения, воздействует на па-

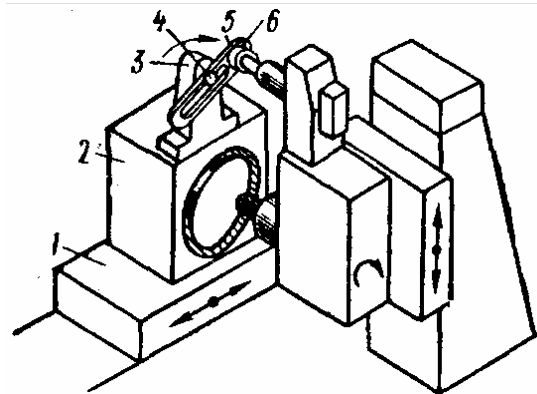


Рис. 7.6. Схема обработки отверстия на копировально-фрезерном станке с построителем

лец, введенный в отверстие линейки. Отклонения пальца под действием противовеса передаются в виде сигналов механизмам следящего управления станка, вызывая повторение фрезой движений пальца. Вращаясь, фреза вырезает криволинейный паз радиусом, равным выдвинутой части линейки.

Для обработки части окружности с использованием указанного построителя на поверхности обрабатываемой заготовки делают разметку. Фрезу подводят к начальной точке, а копировальный палец вводят в отверстие в линейке, которая выдвигается на расстояние требуемого радиуса. Обработка паза оканчивается после перемещения фрезы из начальной в конечную точку. Перестановка линейки по корпусу 3 изменяет радиусы обработки, и таким образом вращающаяся линейка способствует обработке замкнутого паза определенной глубины.

На рис. 7.7 приведена схема наладки токарного станка для обработки выпуклых и вогнутых торцов заготовок с применением построителей, воздействующих непосредственно на исполнительное устройство станка.

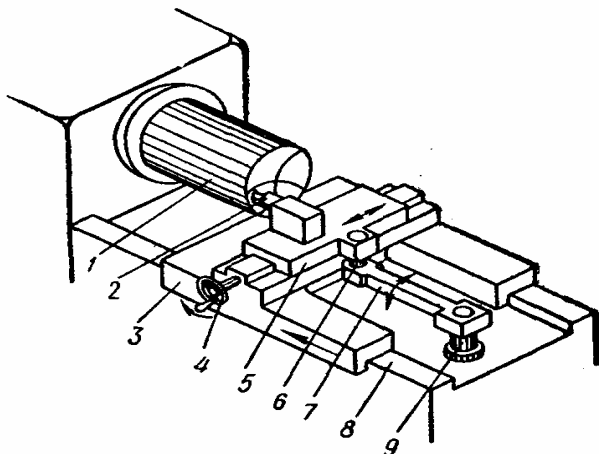


Рис. 7.7. Схема обработки вогнутой сферической поверхности на токарном станке с построителем

По направляющим 8 станины перемещается продольный суппорт 3, отключенный от ходового винта. Для ограничения его перемещений поперечный суппорт 5 со стержнем 6, расположенным консольно, соединяется с шатуном 7, имеющим ось поворота 9, закрепленную в станине. Если за маховичок 4 перемещать поперечный суппорт, то последний, будучи связан с осью, совершает движение по радиусу, равному длине шатуна. Дополнительное движение вдоль станины будет совершаться за счет продольного суппорта. Режущая кромка резца 2, закрепленного в резцедержа-

теле, будет перемещаться по радиусу, и обрабатывать вогнутый торец на вращающейся заготовке 1.

При расположении оси поворота с левой стороны от поперечного суппорта поверхность на торце обрабатываемой заготовки получится выпуклой.

Обработка сложных поверхностей при сочетании копиров, настроенных кинематических цепей и построителей обеспечивает наиболее широкие технологические возможности.

Одним из примеров сочетания копиров с настроенными кинематическими цепями является обработка конуса по конусной линейке (рис. 7.8, а). На кронштейне 1 установлена линейка 2, которая может быть повернута на заданный угол (равный половине угла $\frac{\alpha}{2}$ при вершине обтачиваемого конуса).

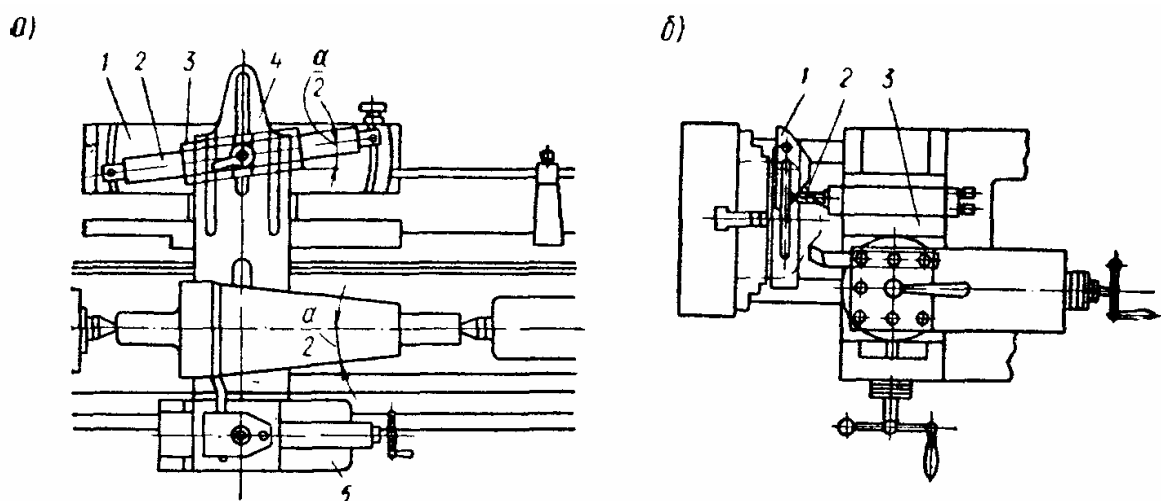


Рис. 7.8. Обработка на токарном станке сложных поверхностей с помощью копиров с настроенными кинематическими цепями

По линейке перемещается ползун 3, связанный с поперечной кареткой 5 жесткой тягой 4. Поперечная каретка освобождена от винта поперечного суппорта. При движении продольной каретки по направляющим станины ползун, перемещаясь по линейке, через тягу заставляет поперечную каретку вместе с резцом следовать по направлению копирной линейки под заданным углом. Сферические и фасонные поверхности также обрабатывают, применяя копирные устройства (рис. 7.8, б). Копирный палец 2 устанавливают на суппорт 3. Он находится в контакте с копиром 1, укрепленным на станине станка. При поперечном перемещении суппорта режущий инструмент обтачивает фасонный профиль, копируя контур копира. Суппорт прижимается к копиру с отключением продольного перемещения.

В современной металлообработке широко применяется гидрокопирование. Для этой цели токарные станки оборудуют специальными гидрокопировальными устройствами (рис. 7.9).

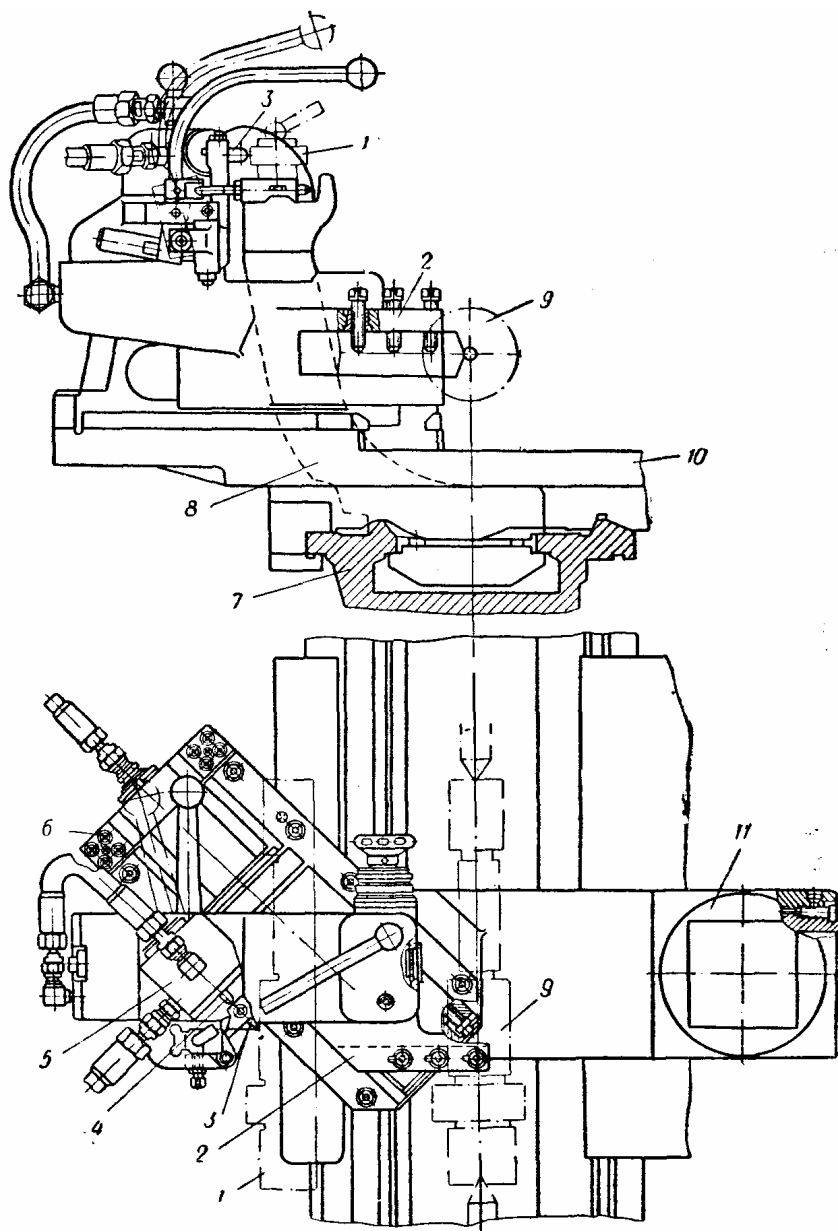


Рис. 7.9. Гидрокопировальное устройство к токарному станку

Для установки гидрокопировального устройства необходимо снять верхнюю часть суппорта и освободить поперечные салазки каретки суппорта, после чего закрепить устройство на плите 10, установленной на поперечных салазках каретки станка с задней стороны. При необходимости использовать токарный станок как универсальный поворотный резцедержатель крепят к плите 11, устанавливаемой на салазках в передней части станка.

При обработке ступенчатых заготовок гидравлический суппорт 6 должен быть повернут на некоторый угол, чем обеспечивается нормальная работа резца при переходе от одной ступени к другой. Копирный палец 3, перемещаясь по профилю копира 1, находится в контакте со щупом 4 гидравлического механизма 5. Копир, установленный на кронштейне 8, прикреплен неподвижно к станине 7 станка. Иногда вместо копира применяют эталонную деталь, которую устанавливают между центрами бабок приспособления, размещаемого на кронштейне. В резцедержателе 2 устанавливают резец, который обтачивает заготовку 9.

Работа гидросхемы копирующего устройства основана на изменении давления копирного пальца на щуп, который, являясь плунжером золотника, при перемещении изменяет проходное сечение золотниковой выточки, вследствие чего происходит регулирование движения суппорта.

Это гидроконтролируемое устройство работает по однокоординатной системе с продольной и поперечной подачами. Если необходим другой проход, то каретку суппорта отводят вручную в исходное положение и после замены копира первого прохода повторяют цикл обработки.

С применением лепестковых копиров (рис. 7.10) может быть осуществлена как многопроходная обработка данной заготовки, так и обработка различных по конфигурации заготовок при непереключаемой оснастке, т. е. без замены копира, при этом каждой новой форме будет соответствовать свой шаблон лепесткового копира.

Лепестковый копир представляет собой набор из плоских шаблонов (1, 2, 3, 4) (в масштабе 1:1 с контуром обработки), закрепленных на оправке, устанавливаемой в центрах гидросуппорта.

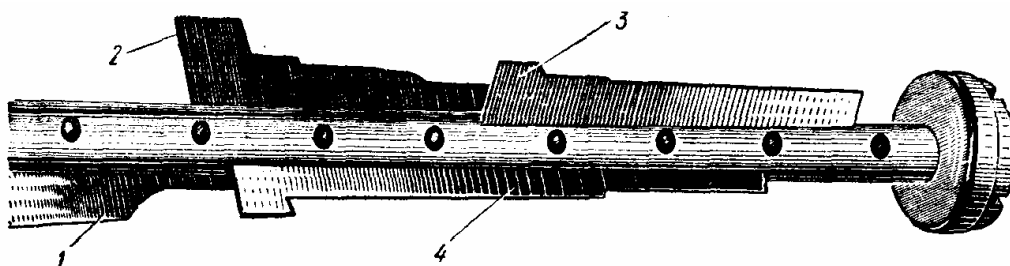


Рис. 7.10. Общий вид лепесткового копира

При применении лепестковых копиров обычный универсальный токарный станок, снабженный гидроконтролируемым устройством, оснащается механизмом для ускоренного возврата каретки суппорта в исходное положение (обгонной муфтой), механизмами включения и выключения гидросуппорта и медленного поворота лепесткового копира.

Обгонная муфта присоединяется к коробке подач станка и осуществляет быстрый отвод каретки суппорта в исходное положение.

Механизмы включения и выключения гидросуппорта устанавливаются на его корпусе и перемещаются с ним в процессе обработки. В конце каждого прохода системой рычагов, кинематически связанных с рукояткой управления гидросуппорта, гидросуппорт отводится от обрабатываемой поверхности заготовки под углом назад. При этом посредством конечного выключателя замыкается цепь электродвигателя ускоренного хода, возвращая суппорт в исходное положение.

Механизм поворота лепесткового копира устанавливается в задней бабке гидросуппорта и приводится в действие во время ускоренного возврата гидросуппорта в исходное положение.

При отходе назад каретка суппорта в результате воздействия специального устройства поворачивает шпиндель копирной бабки вместе с лепестковым копиром, закрепляемым в центрах поводковым устройством, на 180 , 120 и 90° (2, 3 и 4-й проходы). Автоматический цикл многопроходной обработки завершается с остановкой станка при полном повороте лепесткового копира на 360° .

Цикл многопроходной обработки с применением лепесткового копира состоит из трех этапов (рис. 7.11): а) подвод режущего инструмента от каретки суппорта станка (точка A) к торцу обрабатываемой заготовки и обточка профиля по первому шаблону (до точки B); б) отвод инструмента от обрабатываемой поверхности после окончания первого прохода и ускоренный возврат каретки суппорта в исходное положение (до точки A); в) поворот лепесткового копира на следующий шаблон, соответствующий новому проходу.

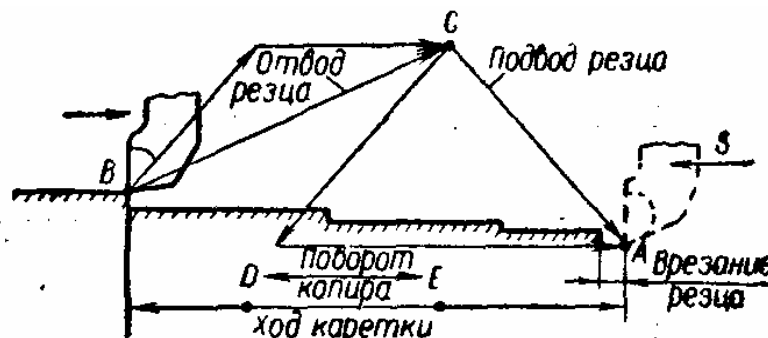


Рис. 7.11. Циклограмма многопроходной обработки

Щуп и резец в результате перемещений от гидросуппорта и вдоль оси станка (от каретки суппорта) отводятся в исходное положение (из точки B к точке C по диагонали параллелограмма скоростей).

Это движение будет осуществляться до тех пор, пока отходящая назад каретка гидросуппорта не достигнет упора, установленного на задней бабке лепесткового копира, в результате чего будет включена рукоятка управления гидросуппорта и под действием углового движения вперед (от гидросуппорта) и осевого движения назад (от каретки суппорта) щуп и резец будут подведены к обрабатываемой поверхности от точки *C* к точке *A* по диагонали, при этом во время ускоренного возврата гидросуппорта в исходное положение между точками *D* и *E* приводится в действие механизм поворота копирной бабки. При размыкании упором цепи электродвигателя ускоренного хода каретка прекращает действие обгонной муфты, ходовой валик вновь получает прямое вращение от коробки подач, а гидросуппорт – движение рабочей подачи в сторону шпинделя станка, т. е. цикл завершается и начинается второй проход.

Сочетание копиров с рычажными механизмами применяют, если необходимо обеспечить передачу движения в каком-либо масштабе или конструктивной связи между расположенными в разных плоскостях подвижными узлами.

Наиболее характерным механизмом этого вида масштабного копирования является рычажный механизм, называемый *пантографом*. Рычажные механизмы применяют при гравировальных работах. Они предназначены для нанесения надписей, изображений и цифр на поверхности деталей.

На рис. 7.12 показана схема объемного копирования на специальном станке. На этом станке оси фрезы и копирного пальца расположены в вертикальной плоскости.

Копирный палец *A* со шпинделем *1* перемещается в вертикальном направлении. Движение уравнивается грузом и двуплечим рычагом *5*, имеющим ось качания *3*. Внутри хобота находится рычаг *18*, качающийся на оси *4*, которая может перемещаться на расстояние 0,25 длины рычага, что обеспечивает изменение масштаба копирования в пределах 1:1 – 1:3. На конце рычага *18* имеется вертикальная зубчатая рейка *6*, находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом *10*, длина которого соответствует горизонтальному перемещению хобота; другой конец *2* рычага *18* связан с корпусом шпинделя. Одновременно колесо *10* сцепляется с двойной рейкой *9*, находящейся в зацеплении с зубчатым колесом *11*, длина которого равна поперечному ходу обоих хоботов. Далее кинематическая цепь идет через рейку *12*, зубчатое колесо *13*, рейку *14*, рычаг *17* и шпиндель *16* фрезы. Рычаг *17* имеет возможность качаться на неподвижной оси *15*. Элементы кинематики *14*, *13* и *12* соответствуют элементам *6*, *10* и *9*. Шпиндель

16 с фрезой *B* имеет двуплечий рычаг 8 с грузом 7. Если шпиндель 1 с копирным пальцем переместится вертикально, то и шпиндель 16 с фрезой тоже переместится в том же направлении вертикально, причем это перемещение будет выдержано в заданном настройкой масштабе.

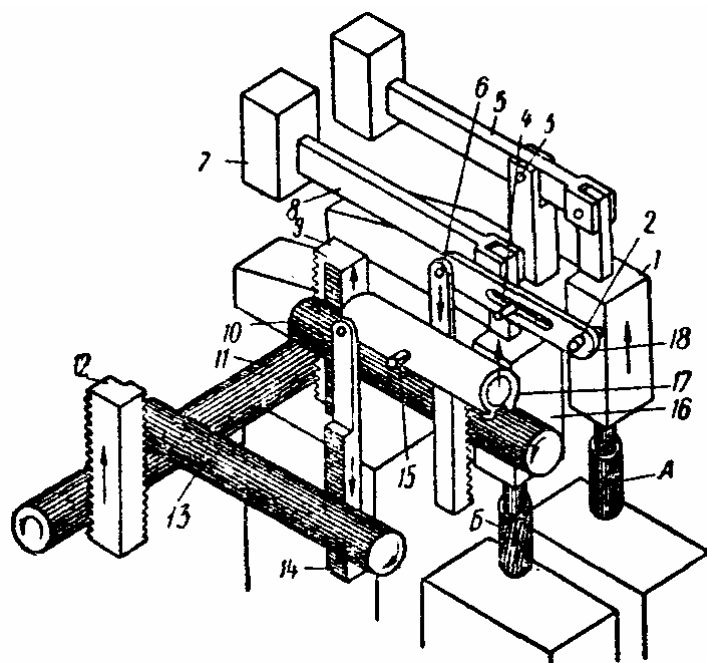


Рис. 7.12. Схема объемного копирования

Построители с настроенной кинематической цепью применяют для вращательного и поступательного перемещения режущего инструмента, при обработке на токарных станках заготовок квадратного сечения, для сверления шестигранных отверстий и других подобных видов обработки.

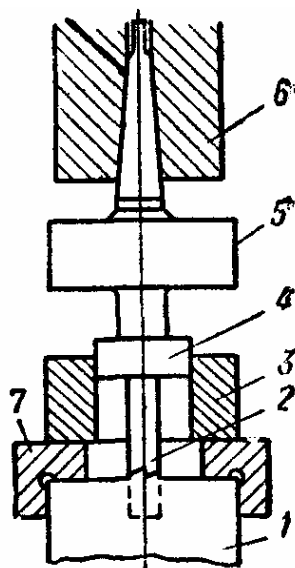


Рис. 7.13. Схема копировального устройства для сверления шестигранных отверстий

На рис. 7.13 показана схема копировального устройства для сверления правильных шестигранных отверстий. В шпинделе 6 станка укрепляют плавающий патрон 5 с направляющим кулачком 4 и сверлом 2. При поступательном перемещении шпинделя 6 направляющий кулачок перемещается по неподвижному копиру 3 (или направляющей втулке), который совместно с промежуточной втулкой 7 устанавливают на обрабатываемой заготовке 1 [2, 3].

8. ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Зубчатые колеса делят на цилиндрические, конические и червячные. Первые наиболее распространены. Их выполняют одно- и многовенцовыми (блочными). По конфигурации зубчатые колеса делают в виде дисков с гладкими или шлицевыми отверстиями, а также в виде фланцев и валиков (с хвостовиками). У цилиндрических колес зубья выполняют прямыми, спиральными и шевронными, у конических – прямыми, косыми и криволинейными.

Допуски цилиндрических эвольвентных зубчатых колес регламентированы ГОСТом со степенями точности от 3 до 12. В машиностроении в основном применяют 5, 6, 7, 8 и 9-ю степени. ГОСТом установлены требования к кинематической точности зубчатых колес, плавности их работы и контакту зубьев.

8.1. Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес методом копирования дисковыми и пальцевыми фрезами

Нарезание цилиндрических зубчатых колес с прямым зубом можно выполнить на горизонтальных и универсальных фрезерных станках при помощи делительной головки модульными дисковыми фрезами. Этот метод, называемый методом копирования, заключается в последовательном фрезеровании впадин между зубьями фасонной дисковой модульной фрезой. Такие фрезы изготавливаются набором из 8 или 15 штук для каждого модуля. Обычно применяют набор фрез из 8 штук, обработка которыми позволяет получать зубчатые колеса 9-й степени точности, но для изготовления более точных зубчатых колес требуется набор из 15 или 26 штук. Такое количество фрез в каждом наборе необходимо потому, что для различного числа зубьев колес размеры впадин между зубьями различны. Каждая фреза набора предназначена для определенного интервала числа зубьев.

Зубчатые колеса обычно нарезаются по одной (рис. 8.1, *а*) или по несколько штук на оправке (рис. 8.1, *б*), что увеличивает производительность за счет времени, затрачиваемого на врезание и выход фрезы, а также за счет вспомогательного времени. Если на шпиндельной оправке расположить две или три фрезы (рис. 8.1, *в*), каждая из которых будет прорезать впадины зубьев у одной группы заготовок, то производительность будет еще больше.

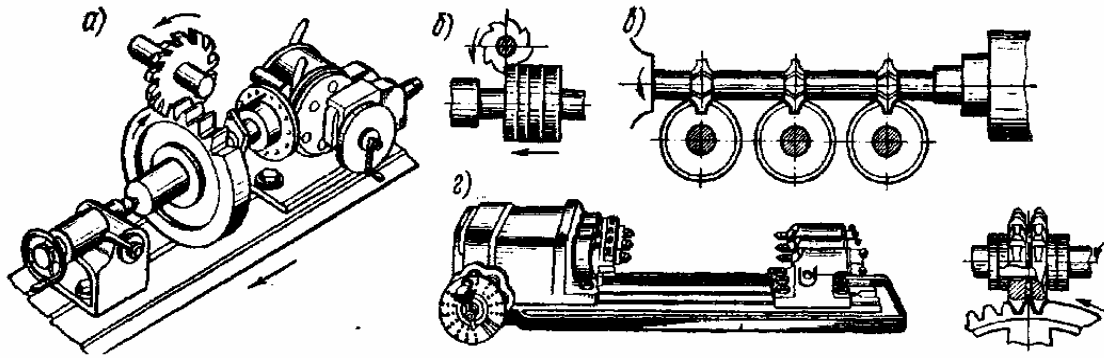


Рис. 8.1. Нарезание зубьев зубчатых колес дисковыми модульными фрезами: *a* – одной заготовки; *б* – нескольких заготовок на одной оправке; *в* – тремя фрезами одновременно; *г* – с применением трехшпиндельной головки; *д* – одновременно двумя модульными фрезами

В этом случае применяют многшпиндельные делительные головки (рис. 8.1, *г*). Применение для этих целей полуавтоматических станков, у которых все вспомогательные движения (подход заготовок к фрезам, отход их в исходное положение, поворот заготовок на один зуб и останов станка) совершаются автоматически, также повышает производительность. Значительное увеличение производительности достигается применением твердосплавных фрез.

Основное время при нарезании прямых зубьев цилиндрических зубчатых колес модульной дисковой фрезой на зубофрезерном станке с автоматическим делительным механизмом определяется по формуле

$$t_O = (l_O + l_{BP} + l_{II}) \left(\frac{1}{S_{P.X}} + \frac{1}{S_{OB.X}} \right) \frac{Zi}{m} + \frac{\tau Zi}{v} \text{ (мин)}, \quad (8.1)$$

где l_O – длина нарезаемого зуба в мм; l_{BP} – длина врезания в мм; l_{II} – длина перебега в мм; $S_{P.X}$ – минутная подача при рабочем ходе в мм; $S_{OB.X}$ – минутный путь обратного хода в мм; Z – число зубьев нарезаемого колеса; i – число ходов; m – количество одновременно нарезаемых зубчатых колес; τ – время на поворот заготовки на 1 зуб в мм.

Величина врезания l_{BP} определяется по формуле

$$l_{BP} = \sqrt{t(D_\phi - t)} (1 \div 2) \text{ мм}, \quad (8.2)$$

где t – глубина прорезаемой впадины между зубьями в мм; D_ϕ – диаметр фрезы в мм.

Минутная подача при рабочем ходе

$$S_{P.X} = S_Z Z n, \quad (8.3)$$

где S_Z – подача на 1 зуб фрезы в мм; n – число оборотов фрезы в минуту.

При нарезании зубьев на горизонтально- или универсально- фрезерном станке время на отвод стола в исходное положение и время на поворот заготовки с помощью делительной головки перед нарезанием каждого зуба относятся к вспомогательному времени и в формулу основного (технологического) времени не входят.

Нарезание зубьев цилиндрических колес средних модулей 8 – 9-й степеней точности можно производить одновременно двумя дисковыми модульными фрезами (рис. 8.1, *д*). Черновое нарезание таких же зубчатых колес средних и крупных модулей осуществляется тремя дисковыми, но не модульными, а угловыми фрезами (рис. 8.2, *а*). Черновое нарезание крупномодульных (с модулем более 30 мм) прямозубых колес можно производить специальными дисковыми фрезами (рис. 8.2, *б*), при этом станок должен быть оснащен специальными шпинделями. Одним шпинделем можно фрезеровать отдельно каждую сторону зубьев.

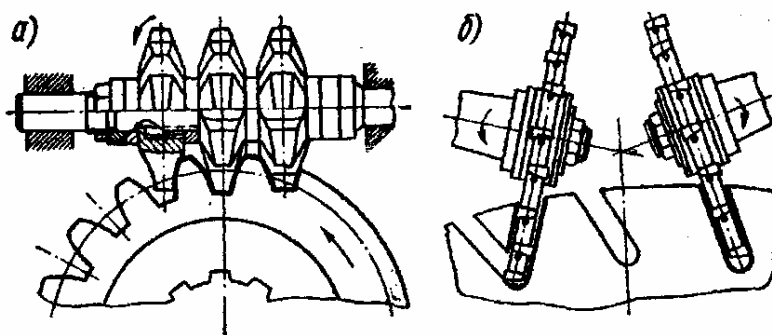


Рис. 8.2. Нарезание зубьев зубчатых колес дисковыми фрезами: *а* – тремя дисковыми угловыми фрезами; *б* – двумя специальными дисковыми фрезами

Производительность в этом случае будет почти в два раза меньше. Но зато можно использовать универсальный или горизонтальный фрезерный станок.

Дисковыми модульными фрезами можно также обрабатывать цилиндрические зубчатые колеса с косым зубом, поворачивая фрезу на угол наклона зуба.

Пальцевыми модульными фрезами нарезают зубья средних и крупномодульных цилиндрических (рис. 8.3, *а*), шевронных (рис. 8.3, *б*) колес, реек и др. Зубья очень крупных модулей (более 20 мм) начерно нарезают двугловой пальцевой фрезой (рис. 8.3, *в*) или последовательно двумя угловыми пальцевыми фрезами (рис. 8.3, *г*).

Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес дисковыми модульными фрезами, а также пальцевыми фрезами применяется преимуще-

ственно в единичном и мелкосерийном производстве при отсутствии специальных зуборезных станков, так как такой способ нарезания дает сравнительно малую производительность и точность 9 – 11-й степеней.

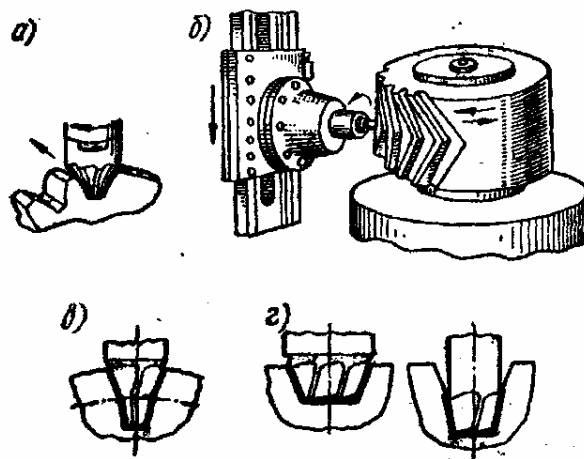


Рис. 8.3. Нарезание зубьев зубчатых колес пальцевыми фрезами: *a* – прямозубого колеса; *b* – шевронного колеса; *в* – черновое нарезание двуугловой фрезой; *г* – последовательно двумя угловыми фрезами

8.2. Нарезание зубьев зубчатых колес методом обкатки

Этот метод обработки зубьев заключается в том, что в процессе обработки воспроизводится зацепление зубчатой пары, в которой одной деталью является режущий инструмент, а другой – нарезаемое зубчатое колесо.

Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес с прямым, косым и криволинейным (винтовым) зубом производится с помощью: а) червячных фрез (зубофрезерование), б) долбяков в виде шестерен (дисковых) и в) долбяков в виде гребенок-реек (зубодолбление).

Требование высокой точности и плавности зацепления зубчатых колес, а также стремление повысить производительность зубонарезания привели к созданию специальных зуборезных станков. Наиболее распространенными являются станки, образующие профиль зуба путем фрезерования или долбления режущими кромками инструмента в непрерывном процессе обкатки. При обработке долблением получается более правильный профиль, чем при фрезеровании, так как в этом случае неточности инструмента значительно меньше отражаются на профиле зуба, но зато возникающие при обработке удары вредно влияют на станок и инструмент. Вследствие этого метод долбления применяется главным образом для чистового наре-

зания зубьев. Метод фрезерования двух – или трехзаходными фрезами, как наиболее производительный, применяется главным образом для чернового нарезания. Фрезерование однозаходными фрезами применяется для чистового нарезания. Методом фрезерования можно нарезать большее количество видов зацепления, как-то: цилиндрические зубчатые колеса с прямым и косым зубом, червячные зубчатые колеса, червяки, цепные колеса.

Зубонарезание червячными фрезами

Этот метод благодаря высокой производительности и получаемой точности 8 – 9-й степеней имеет наибольшее распространение.

Для нарезания зубьев указанным методом требуются зубофрезерные станки и режущий инструмент – червячные фрезы. Стандартизованные червячные фрезы выпускаются цельными с модулем до 14 мм, и сборными – с модулем от 10 до 20.

Фреза закрепляется в суппорте, который должен быть повернут так, чтобы ось фрезы была наклонена под углом α подъема винтовой линии витков фрезы. Нарезаемое зубчатое колесо устанавливается на столе станка, который имеет перемещение по станине для установки на глубину зуба и вращательное движение, благодаря которому осуществляется обкатка зубчатого колеса по отношению к червячной фрезе. Суппорт с фрезой осуществляет подачу движением вдоль оси зубчатого колеса. При фрезеровании зубчатых колес с косым зубом фреза устанавливается с учетом наклона винтовой линии витков фрезы и угла спирали зуба зубчатого колеса. Если направление наклона винтовой линии фрезы и нарезаемого зубчатого колеса одинаковое, т. е. если фреза и зубчатое колесо правозаходные (рис. 8.4, а) или левозаходные, то угол установка фрезы равен разности углов фрезы и зубчатого колеса, т. е. $\beta' = \alpha - \beta$. Если же направление наклона винтовой линии фрез и зубчатого колеса различно (рис. 8.4, б), то угол установка равен сумме углов, т. е. $\beta' = \alpha + \beta$.

В зависимости от величины модуля устанавливается число проходов фрезы: зубчатое колесо с модулем до 2,5 мм обычно нарезают за один ход начисто; зубчатое колесо с модулем более 2,5 мм нарезают начерно и начисто в два и даже три хода.

Для черновых ходов применяются двух- и трехзаходные червячные фрезы, которые увеличивают производительность, но снижают точность обработки по сравнению с однозаходными. Поэтому эти фрезы используют главным образом для предварительного нарезания зубьев.

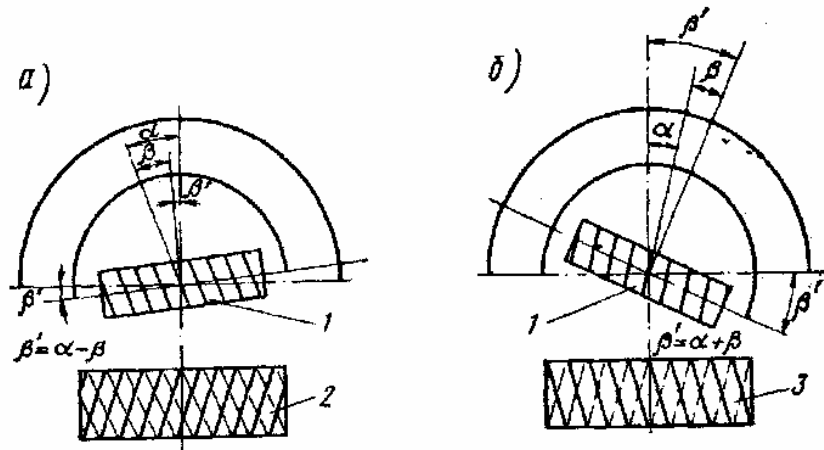


Рис. 8.4. Установка червячной фрезы при зубонарезании цилиндрических зубчатых колес с косым зубом: 1 – правозаходная фреза; 2 – заготовка правозаходного зубчатого колеса; 3 – заготовка левозаходного зубчатого колеса.

Основное время при нарезании прямых зубьев цилиндрических зубчатых колес червячной модульной фрезой определяется по формуле

$$t_0 = \frac{(l_0 m + l_{BP} + l_{II})}{S n q m} Z i \text{ (мм)}, \quad (8.4)$$

где l_0 – длина нарезаемого зуба в мм; m – число одновременно нарезаемых зубчатых колес; l_{BP} – длина врезания в мм; l_{II} – длина перебега в мм; Z – число зубьев нарезаемого зубчатого колеса; S – подача на один оборот зубчатого колеса в мм; n – число оборотов фрезы в минуту; q – число заходов червячной фрезы (для чистовых проходов $q = 1$; для черновых рекомендуется $q = 2$); i – число ходов.

Длина врезания l_{BP} определяется по формуле

$$l_{BP} = (1,1 \div 1,2) \sqrt{t(D_\phi - t)} \text{ (мм)}, \quad (8.5)$$

где t – глубина прорезаемой впадины между зубьями в мм; D_ϕ – диаметр червячной фрезы в мм. Длина перебега $l_{II} = 2 \div 3$ мм.

Врезание червячных фрез, особенно больших диаметров, является значительной величиной и вызывает существенную затрату времени работы станка. Сократить это время на 20 – 30 % можно заменой обычного осевого врезания (рис. 8.5, а) радиальным (рис. 8.5, б).

Для повышения точности зубофрезерования и чистоты обработанной поверхности, а также увеличения стойкости червячной фрезы рекомендуется в процессе резания перемещать червячную фрезу вдоль оси из расчета 0,2 мм за один ее оборот.

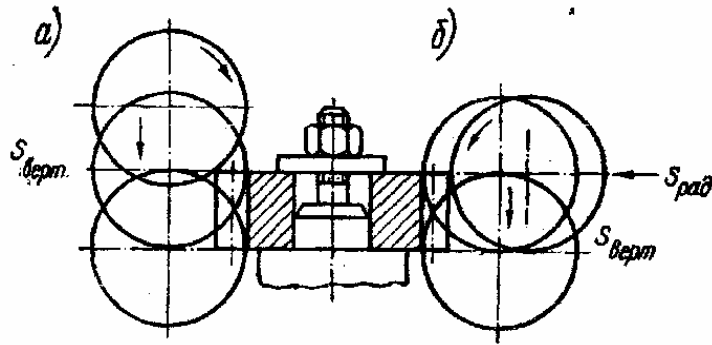


Рис. 8.5. Врезание червячной фрезы: *a* – осевое; *б* – радиальное

Современные станки имеют специальное устройство для осевого перемещения фрезы. Это перемещение может осуществляться: 1) после нарезания определенного числа колес; 2) после каждого цикла зубофрезерования, во время смены заготовок; 3) непрерывно при работе фрезы.

В последнем случае происходит диагональная подача фрезы как результат сложения движения подач вдоль оси заготовки и вдоль собственной оси фрезы.

Нарезание червячных зубчатых колес. При нарезании червячных зубчатых колес ось фрезы устанавливается перпендикулярно оси обрабатываемого колеса и точно по центру ее ширины. Нарезать червячные зубчатые колеса можно: 1) способом радиальной подачи; 2) способом тангенциальной подачи; 3) комбинированным способом.

Нарезание червячных колес *способом радиальной подачи* более распространено, чем другие способы. При этом способе (рис. 8.6, *a*) фреза 1 и нарезаемое зубчатое колесо 2 вращаются. Скорости вращения их рассчитываются так, чтобы за один оборот фрезы зубчатое колесо повернулось на число зубьев, равное числу заходов червяка. В отличие от нарезания цилиндрических зубчатых колес суппорт с фрезой стоят на месте, стол же с укрепленным на нем нарезаемым зубчатым колесом осуществляет горизонтальную подачу s на глубину зуба по направлению к фрезе, т. е. в радиальном направлении.

В зубофрезерных станках, работающих по методу обкатки, предназначенных для нарезания зубчатых колес большого диаметра, горизонтальная подача осуществляется не столом с заготовкой, а стойкой, несущей суппорт с фрезой.

Способ радиальной подачи применяется главным образом для нарезания червячных зубчатых колес однозаходных и реже – двухзаходных.

Основное время при нарезании червячных зубчатых колес на зубофрезерных станках способом радиальной подачи определяется по формуле

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{BP} + l_{II})Z}{S_p n q} = \frac{3MZ}{S_p n q}, \quad (8.6)$$

где $l_0 = 2,2M$ – высота зуба в мм; $l_{BP} = 0,55M$ – длина врезания в мм; $l_{II} = 0,25M$ – длина врезания в мм; l_{II} учитывает время на работу фрезы при выключенной радиальной подаче за 1 – 2 оборота нарезаемого червячного зубчатого колеса для получения всех зубьев одинаковой высоты; M – модуль нарезаемого колеса в мм; Z – число зубьев нарезаемого колеса; S_p – радиальная подача в мм на один оборот заготовки; n – число оборотов фрезы в минуту; q – число заходов червячной фрезы.

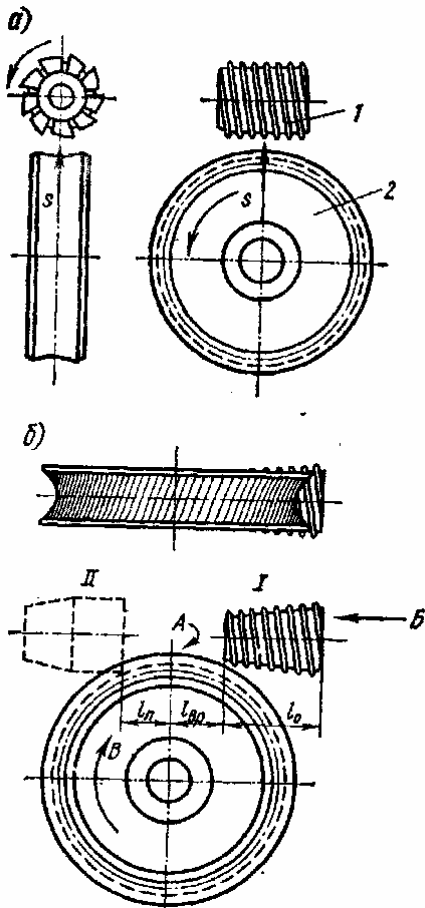


Рис. 8.6. Зубонарезание червячных зубчатых колес червячными фрезами: а – способом радиальной подачи; б – способом тангенциальной подачи; I-II – соответственно начальное и конечное положения фрезы

Способ тангенциальной подачи применяется главным образом для нарезания червячных зубчатых колес к многозаходным червякам; этим способом нарезание выполняется при помощи специального суппорта, позволяющего осуществлять тангенциальную (т. е. по касательной линии к зубчатому колесу) подачу фрезы (рис. 8.6, б).

Стрелка А указывает вращение червячной фрезы, стрелка Б – подачу фрезы по касательной линии к зубчатому колесу, стрелка В – вращение зубчатого колеса. Нарезание зубчатого колеса заканчивается, когда все зубья фрезы перейдут за ось зубчатого колеса. При нарезании способом тангенциальной подачи получается

более правильный профиль, но себестоимость фрезы значительно выше нормальной и, как сказано, требуется наличие специального суппорта.

Основное время при нарезании червячных зубчатых колес на зубофрезерных станках способом тангенциальной подачи определяется по формуле

$$t_O = \frac{(l_O + l_{BP} + l_{II})}{S_T n q}, \quad (8.7)$$

где $l_O + l_{BP} + l_{II} = 2,94M\sqrt{Z}$ (мм) (величина перемещения фрезы); M – модуль зубчатого колеса в мм; Z – число зубьев зубчатого колеса; S_T – тангенциальная подача фрезы на один оборот заготовки в мм; n – число оборотов фрезы в минуту; q – число заходов фрезы.

Нарезание червячных зубчатых колес *комбинированным способом* применяется при нарезании единичных ненормализованных червячных зубчатых колес, для которых изготовление червячных фрез экономически не оправдывается. Нарезание производится последовательно двумя резцами – черновым и чистовым; резец закрепляется в оправке (рис. 8.7, а), представляя как бы однозубую фрезу.

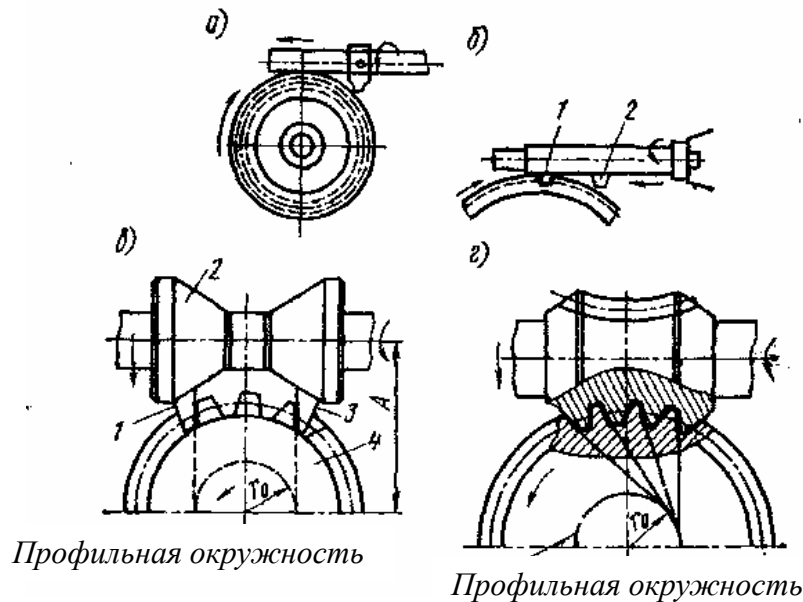


Рис. 8.7. Зубонарезание червячных зубчатых колес:
 а – одним резцом; б – двумя резцами; в – двумя резцами глобоидного колеса;
 г – червячной фрезой глобоидного колеса

Чистовой резец изготавливается точно по профилю, а черновой имеет более узкую режущую часть, благодаря чему остается припуск, примерно равный 0,5 мм на сторону зуба. Черновой резец врезается на установленную глубину с радиальной подачей, после чего чистовой дорезает зуб с тангенциальной подачей. Резцы – черновой и чистовой – можно менять; часто закрепляют оба резца в одной оправке (рис. 8.7, б) на определенном расстоянии один от другого.

Нарезание зубьев червячного глобоидного колеса обычно состоит из двух операций: предварительного нарезания при радиальной подаче и чистового нарезания при круговой подаче и точно заданном межосевом расстоянии.

Инструментом для предварительного и окончательного нарезания зубьев глобоидного колеса в индивидуальном и мелкосерийном производствах являются два «летучих» резца (рис. 8.7, в). Кроме этих резцов, как предварительное, так и окончательное нарезание можно производить глобоидной гребенкой или глобоидной фрезой (рис. 8.7, г).

Нарезание зубьев долбяками

Как отмечалось выше, нарезать зубья методом обкатки можно также долбяками в виде шестерен и в виде гребенок (реек) на зубодолбежных станках.

Долбяк, являющийся режущим инструментом, имеет форму шестерни и того же модуля, что и нарезаемое зубчатое колесо. Долбяки изготавливаются для наружного и внутреннего долбления; последний случай относится к зубчатым колесам с внутренним зацеплением.

Для нарезания зубчатых колес с винтовым зубом применяется долбяк тоже с винтовым зубом и с тем же углом подъема винтовой линии, что и у нарезаемого зубчатого колеса; долбяк получает добавочное вращение по винтовой линии от специального копира, помещающегося в верхней части шпинделя долбяка.

Горизонтальная подача долбяка осуществляется двумя способами:

1) при помощи ходового винта специального и автоматического делительного механизма (в крупных станках); 2) при помощи одного из трех специальных копиров, из которых применяется тот или другой в зависимости от числа ходов, необходимых для нарезания полного профиля зубьев (под ходом здесь понимается оборот заготовки в процессе нарезания). Обработка за один ход применяется для зубчатых колес с модулем 1 – 2 мм, за два хода – с модулем 2,25 – 4 мм и за три хода – при модулях, превышающих 4 мм, а также при меньших модулях, но при повышенных требованиях к точности и чистоте обработки.

Обычно зубчатые колеса даже средних модулей предварительно обрабатываются на зубофрезерных станках, а чистовая обработка производится на зубодолбежных станках за один и (реже) два хода.

Предварительное нарезание зубьев на зубофрезерных станках часто бывает более производительным, чем на зубодолбежных станках. При обработке зубьев с модулем 5 мм и более, когда снимается значительное количество металла, зубофрезерные станки более производительны, чем зубодолбежные. При нарезании зубьев с модулем до 2,5 мм, когда металла снимается сравнительно мало, более производительными и точными являются зубодолбежные станки. При обработке зубьев средних модулей (от 2,5 до 5 мм) зубофрезерные и зубодолбежные станки по производительности могут быть равноценными, но целесообразнее применять зубофрезерные.

Следует отметить, что быстроходные зубодолбежные станки с числом ходов долбяка 600 – 700 в минуту обладают высокой производительностью зубонарезания.

Основное время при нарезании зубьев зубчатых колес на зубодолбежных станках дисковыми долбяками определяется по формуле

$$t_O = \frac{h}{S_p n} + \frac{tZ}{S_K n} \cdot i = \frac{h}{S_p n} + \frac{\pi MZ}{S_K n}, \quad (8.8)$$

где h – глубина нарезаемой впадины между зубьями в мм; S_p – радиальная подача на один двойной ход долбяка в мм; n – число двойных ходов долбяка в минуту; t – шаг нарезаемого зубчатого колеса в мм; Z – число зубьев нарезаемого колеса; S_K – круговая подача зубчатого колеса на один двойной ход долбяка в мм; i – число обкатов (ходов), необходимое для нарезания зубчатого колеса; M – модуль зубьев нарезаемого колеса в мм.

Производительность зубодолбления значительно повышается при совмещении черного и чистового нарезания зубьев колес с одновременным применением двух (рис. 8.8, *a*) или трех долбяков, установленных на штоселе зубодолбежного станка.

Расстояние a между торцевыми поверхностями долбяков должно быть на 1 – 3 мм больше ширины венца b . Верхний долбяк служит для окончательного профилирования зубьев колеса; нижний долбяк перешлифовывают так, чтобы ширина и высота зубьев его была меньше ширины и высоты зубьев верхнего долбяка.

На рис. 8.8, *б* показано одновременное долбление двумя долбяками двух венцов блочного колеса.

С целью увеличить производительность зубодолбежных станков при нарезании зубчатых колес малых и средних модулей применяют комбинированные долбяки, которые производят последовательно черновое и чистовое нарезание зубьев за один оборот долбяка. У таких долбяков часть зубьев, имеющих уменьшенную толщину, служит для чернового долбления, другая часть – для чистового, окончательного. Кроме того, на долбяке имеется участок без зубьев, позволяющий снимать обработанное зубчатое колесо с оправки и надевать заготовку на оправку без отвода шпинделя с долбяком. На рис. 8.8, *в* показано одновременное зубодолбление шести заготовок комбинированным долбяком.

Комбинированные долбяки пригодны только для нарезания зубчатых колес с определенным числом зубьев, вследствие чего их целесообразно применять главным образом в крупносерийном и массовом производстве.

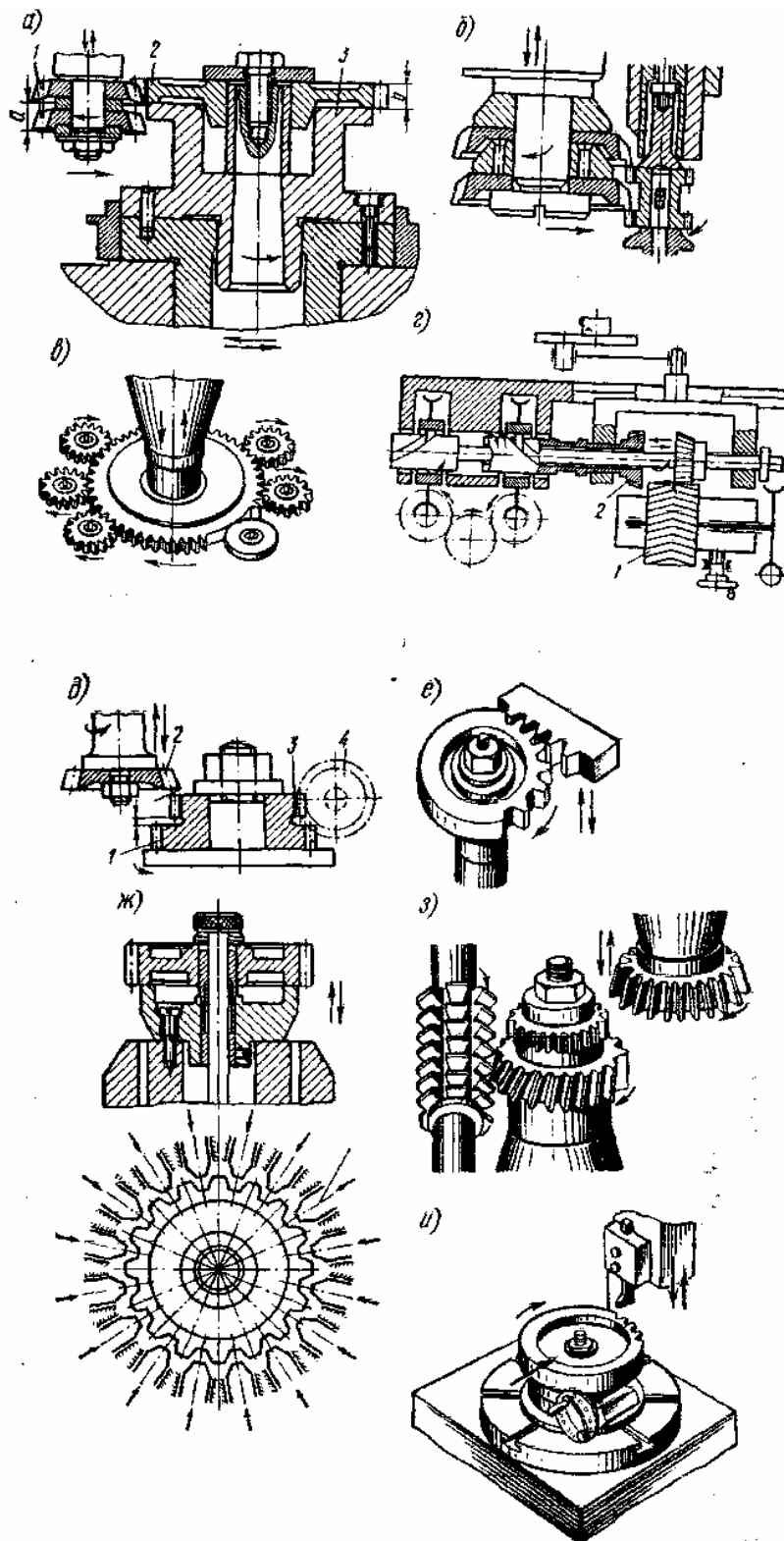


Рис. 8.8. Нарезание зубьев долбяками:

a – черновое и чистовое долбление; *б* – одновременное долбление двух колес; *в* – одновременное долбление шести колес комбинированным долбяком; *г* – нарезание зубьев шевронного колеса; *д* – долблением двухвенцового колеса; *е* – долбление гребенкой; *ж* – долбление многорезцовой головкой; *з* – одновременное долбление и фрезерование зубьев двух колес; *и* – обработка зубьев на долбежном станке

Комбинированные долбяки непригодны для зубчатых колес с большим числом зубьев, так как число зубьев этих долбяков должно быть равно удвоенному числу зубьев нарезаемого колеса, ввиду чего долбяки получаются больших размеров.

Зубодолбежные станки наряду с высокой производительностью дают чистую обработанную поверхность зубьев 7 – 8-й степеней точности. На специальных зубодолбежных станках двумя спиральными долбяками нарезают зубья шевронных колес (рис. 8.8, *з*).

На зубодолбежных станках можно нарезать зубья на блоках зубчатых колес с 2 – 4 венцами при тесном их расположении, когда фрезерование невозможно.

На рис. 8.8, *д* пунктиром показано положение фрезы 4, которая не может нарезать зуб на венце 3 колеса ввиду невозможности выхода фрезы, так как расстояние между венцами 3 и 1 всего 5 – 6 мм. Тот же венец, отстоящий от другого венца на расстоянии 5 – 6 мм, успешно нарезается долбяком 2, для выхода которого вполне достаточно 2 – 4 мм.

Как было указано выше, цилиндрические зубчатые колеса с прямым, косым и винтовым зубьями можно нарезать на зубострогальных станках с применением *долбяков в виде гребенок* (реек) (рис. 8.8, *е*), которые изготавливать и затачивать проще, чем долбяки. Зубострогальные станки для нарезания зубчатых колес гребенками работают по принципу обкатки.

При нарезании зубчатых колес с косым зубом суппорт с гребенкой поворачивается на угол наклона зуба.

Гребенки изготавливаются трех типов в зависимости от модуля и характера обработки: 1) обдирочная – для чернового нарезания зубьев; 2) отделочная – для чистового нарезания зубьев; 3) шлифовальная – для зубьев, которые после нарезания будут шлифоваться. Обдирочные гребенки изготавливаются меньшей ширины, чем отделочные; после обдирки остается припуск на отделку до 0,5 мм на сторону. Нарезание зубьев гребенкой ввиду меньшей производительности по сравнению с нарезанием дисковым долбяком и червячной фрезой применяется редко.

Долбление зубьев методом копирования с помощью многолезцовой головки (рис. 8.8, *ж*) заключается в том, что все зубья изготавливаемого зубчатого колеса обрабатываются одновременно набором профильных резцов, число которых равно числу зубьев обрабатываемого колеса. Резцы расположены в точных радиальных пазах неподвижной резцовой головки. Заготовка устанавливается на оправку шпинделя станка, расположенную вертикально и имеющую возвратно-поступательное движение вверх и вниз. Когда оправка при каждом ходе идет вверх, заготовка проходит внутрь неподвижной резцовой головки и все резцы *A* одновременно нарезают зубья.

Перед началом рабочего хода все резцы одновременно перемещаются в радиальном направлении, т. е. осуществляется подача к центру нарезаемого зубчатого колеса. Когда оправка при каждом ходе идет вниз, резцы в головке отодвигаются в радиальном направлении с целью уменьшения трения задних поверхностей резцов об обрабатываемую поверхность зубьев.

При таком методе нарезания зубчатых колес профиль режущих инструментов копируется на впадинах зубьев обрабатываемого колеса.

Так как при этом методе одновременно производится долбление всех впадин зубьев колеса, то станки, нарезающие зубья по этому методу, отличаются большой производительностью по сравнению с другими зубообрабатывающими станками, но точность обработки на них ниже. Поэтому на таких станках производят главным образом предварительное нарезание зубьев, которые подлежат дальнейшей отделке.

Зубообрабатывающие станки, работающие по этому методу копирования, могут быть целесообразно использованы только при очень большом выпуске одинаковых зубчатых колес, так как для каждого числа зубьев и каждого модуля колеса должен быть изготовлен комплект специальных резцов. Применяемые модели станков 5110, 5120, 5130.

Основное время одновременного нарезания всех зубьев цилиндрических зубчатых колес многорезцовой головкой на зубодолбежном станке определяется по формуле

$$t_0 = \frac{(1,1-1,2)h}{S_{РАД}n}, \quad (8.9)$$

где h – глубина нарезаемой впадины между зубьями в мм; $S_{РАД}$ – радиальная подача резцов на глубину нарезаемой впадины на один двойной ход заготовки в мм; n – число двойных ходов заготовки в минуту.

Для блочных зубчатых колес целесообразно применять комбинированные станки для одновременного нарезания зубьев большего венца червячной фрезой, а меньшего – долбяком (рис. 8.8, з), что позволяет сократить занимаемую станком производственную площадь и обслуживающий персонал, а также повысить производительность труда.

8.3. Нарезание цилиндрических зубчатых колес методом зуботочения

Метод нарезания зубьев, называемый зуботочением, предназначен для нарезания прямых и косых зубьев цилиндрических зубчатых колес на зубофрезерных станках с помощью долбяка, используемого в качестве многорезцового инструмента.

Зацепление инструмента с нарезаемым зубчатый колесом рассматривается как зацепление двух винтовых зубчатых колес, при котором происходит продольное скольжение поверхностей зубьев, являющееся в данном случае движением, осуществляющим процесс резания. На зубофрезерном станке вместо червячной фрезы устанавливается долбяк под углом β (рис. 8.9) к оси заготовки. Углы долбяка и заготовки подбираются таким образом, чтобы разность между углами винтовой линии инструмента и заготовки не была равна нулю.

Нарезание прямых зубьев производится косозубым долбяком (рис. 8.9, а), а нарезание косых зубьев с углом наклона 45° – прямозубым долбяком (рис. 8.9, б).

Производительность этого метода в 2 – 4 раза выше производительности зубофрезерования однозаходной фрезой.

Основное время при нарезании зубьев зуботочением определяется по формуле

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{BP} + l_{II})}{SnZ_D}, \quad (8.10)$$

где l_0 – длина нарезаемого зуба в мм; l_{BP} – величина врезания в мм; l_{II} – величина перебега в мм; Z – число зубьев нарезаемого колеса; S – подача на один оборот заготовки в мм; n – число оборотов долбяка в мм; Z_D – число зубьев долбяка.

8.4. Обработка червяков

Наибольшее распространение получили червяки: архимедовы, эвольвентные, конволютные и глобоидные. Архимедовы червяки (рис. 8.10, а) чаще всего нарезаются на токарных станках, при этом прямолинейные режущие кромки резцов располагаются в осевом сечении так же, как при нарезании трапецидальной резьбы. Винтовая поверхность такого червяка называется архимедовой, так как с торцевой поверхности его она образует архимедову спираль. Такие червяки представляют обычный винт с трапецидальной резьбой.

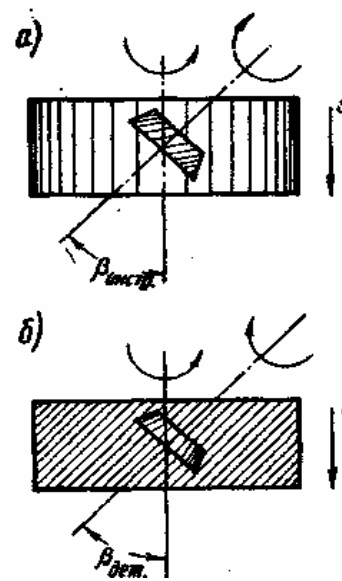


Рис. 8.9. Зуботочение цилиндрического зубчатого колеса: а – косозубым долбяком; б – прямозубым долбяком

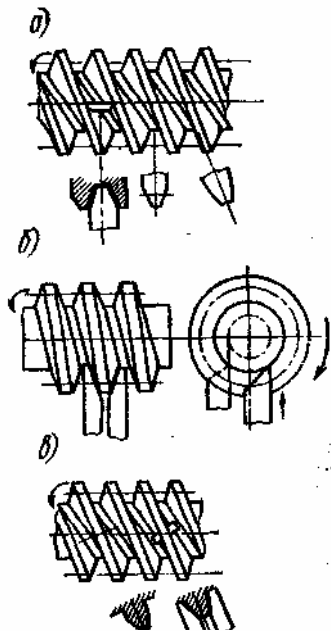


Рис. 8.10. Виды цилиндрических червяков и схемы их обработки резцами:
a – архимедов; *б* – эвольвентный; *в* – конвалютный

Архимедов червяк в осевом сечении имеет прямобоочный профиль с углом, равным профильному углу резца.

При крупносерийном производстве архимедовы червяки фрезеруют дисковыми фрезами (рис. 8.11, *a*) с криволинейными режущими кромками. Шлифование таких червяков осуществляют дисковым конусным или тарельчатым кругом (рис. 8.11, *з*) с припуском 0,1 – 0,2 мм на сторону в зависимости от модуля червяка. Шлифование червяков с малым модулем производят на резьбошлифовальном станке или на токарном, но со специальным устройством, показанным на рис. 8.11, *д*. С таким устройством можно шлифовать червяки и с крупным модулем.

В крупносерийном и массовом производстве шлифование профиля витков червяка с крупным модулем (3 и более) осуществляется на специальном червячно-шлифовальном станке коническим дисковым кругом большого диаметра (800 мм и более). Этот метод обеспечивает большую производительность. Таким кругом можно получить разные профили червяка путем его перемещения в горизонтальной плоскости. Шлифование производится при трех движениях: вращении круга, медленном вращении червяка и поступательном перемещении круга на величину одного шага (хода для многозаходных червяков) за один оборот изделия.

Для отделки витков червяков ответственных передач применяют притирку их чугунными или фибровыми притирами, имеющими форму червячного колеса. В качестве абразивного материала применяют микропорошки с маслом, а для получения высокой чистоты поверхности – пасты ГОИ.

Эвольвентные червяки (рис. 8.11, *б*) нарезаются на токарных станках с отдельной обработкой каждой стороны витка при смещении прямолинейных режущих кромок резцов на величину радиуса основного цилиндра винтовой эвольвентной поверхности.

Если червяк правый, то левую сторону боковой поверхности витков нарезают резцом, поднятым над осью, а правую – опущенным. При левом червяке оба резца соответственно меняют местами. Указанным способом

эвольвентные червяки редко нарезаются ввиду неблагоприятных условий резания резцами, поднятыми или опущенными по отношению осевой линии.

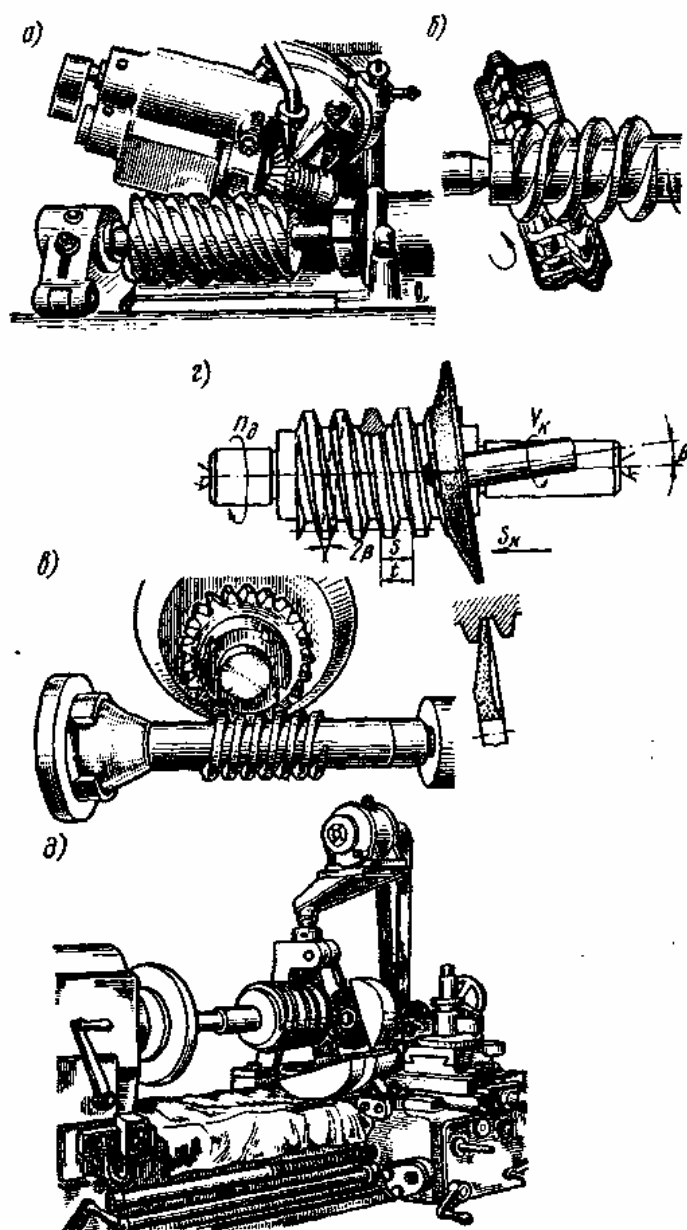


Рис. 8.11. Обработка червяков:

a – дисковой фрезой; *б* – фрезой-улиткой; *в* – долбяком; *г* – шлифовальным кругом;
д – специальное устройство для шлифования червяка на токарном станке

Такие червяки обычно фрезеруют фасонными дисковыми, пальцевыми фрезами и фрезами-улитками (рис. 8.11, б), а шлифуют их плоской стороной тарельчатого шлифовального круга.

В настоящее время в крупносерийном и массовом производстве нарезают архимедовы и эвольвентные червяки обкаточными дисковыми резцами, подобными зуборезным долбякам (рис. 8.11, в), на специальных станках. Подача осуществляется инструментом в осевом направлении заготовки червяка при вращении его и резца.

Червяк с прямосторонним профилем в нормальном сечении витка называют конволютным (см. рис. 8.10, в). Нарезают его резцами, расположенными нормально к боковым поверхностям витка.

Нарезание глобоидных червяков требует применения специальных устройств на зубофрезерных станках. На рис. 8.12, а показана универсальная головка, представляющая собой корпус со шпинделем, смонтированным на планшайбе так, что ось его проходит через центр ее. Электродвигатель с помощью зубчатой или ременной передачи сообщает пальцевой фрезе, закрепленной в шпинделе, соответствующее число оборотов ($v = 10 \div 20$ м/мин). С помощью ходового винта головка по нониусу устанавливается на требуемый радиус нарезки. Пальцевая фреза имеет прямолинейный профиль с углом конусности, равным двойному профильному углу впадины червяка. Предварительное фрезерование червяка производится обычно в один или два прохода с припуском 0,3 – 0,5 мм на толщину витка под чистовые проходы.

При нарезании многозаходного червяка деление на заходы осуществляется вручную через гитару дифференциала по цепи круговой подачи.

Предварительное и окончательное нарезание глобоидного червяка можно осуществлять специальной многолезцовой головкой (рис. 8.12, б).

Профилирующие резцы 1 и 3 обтачивают боковые стороны витка, а резец 2 обтачивает заготовку червяка по наружному глобоиду с круговой подачей головки. Чистовое нарезание глобоидного червяка можно производить универсальной резцовой головкой (рис. 8.12, в) с круговой подачей при точно выдержанном межосевом расстоянии.

После нарезания витков червяк обычно подвергают термообработке с последующим шлифованием опорных шеек и витков. Отделку червяков осуществляют притиркой либо обкаткой закаленным роликом.

Эвольвентный червяк можно рассматривать как цилиндрическое зубчатое колесо с малым числом спиральных зубьев, имеющих большой угол наклона.

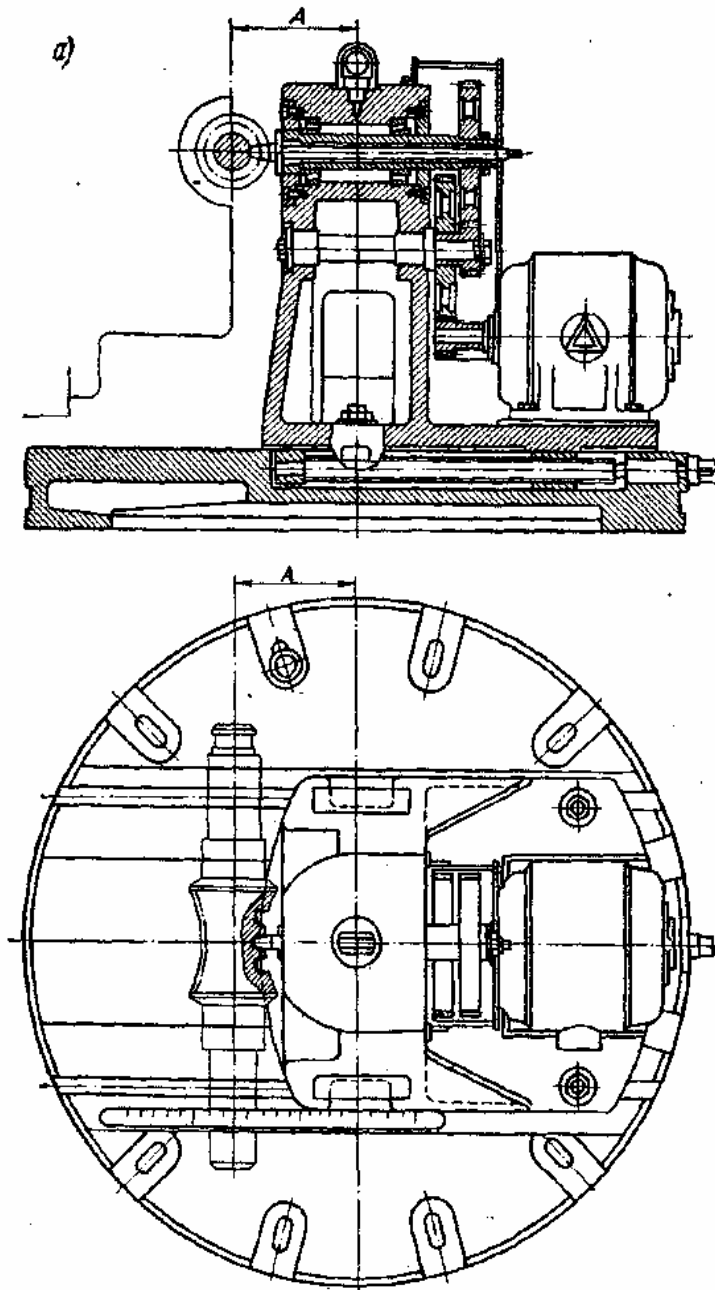


Рис. 8.12. Нарезание глобоидного червяка:
a – специальным устройством с пальцевой фрезой;
б – специальной многолезцовой головкой;
в – универсальной резцовой головкой (см. также с. 144)

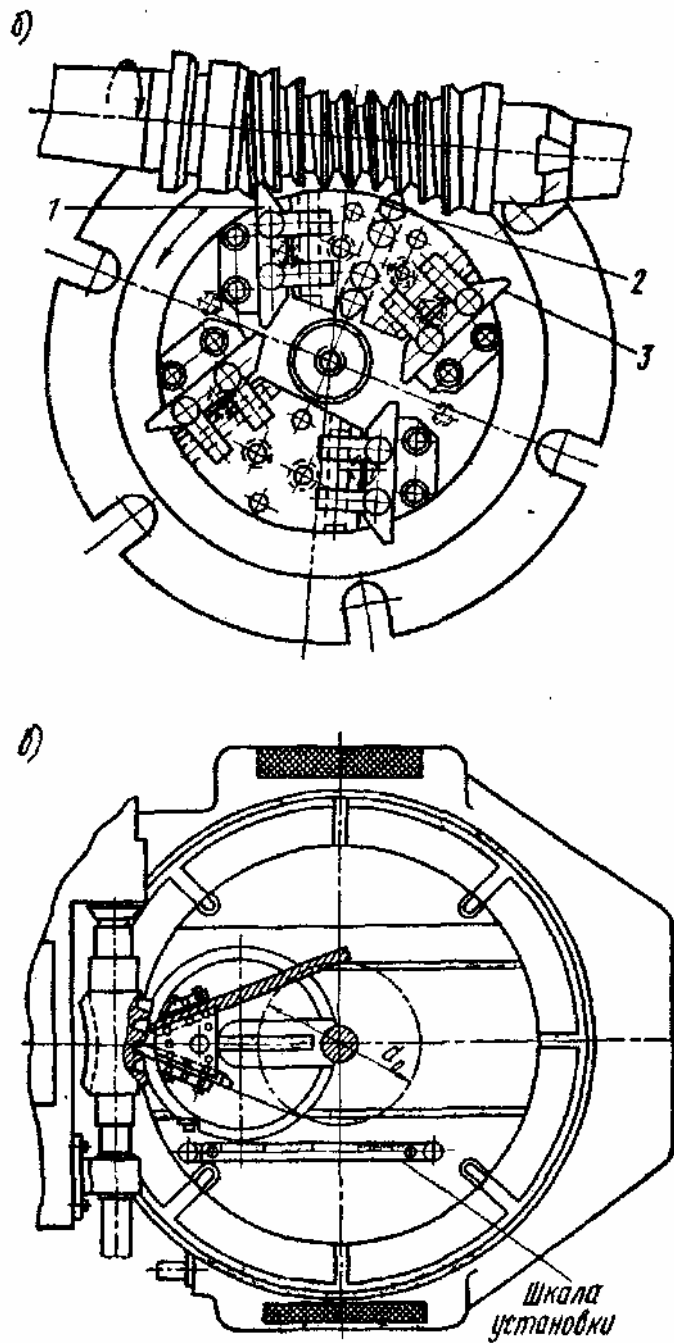


Рис. 8.12. Окончание

Контроль червяков

Диаметральные и линейные размеры червяков проверяются обычными способами при помощи предельных скоб, микрометров и т. п. Наиболее сложной операцией контроля червяков является проверка среднего диаметра витков, concentричности их оси с осью опорных шеек, угла профиля витков и равномерности шага. Средний диаметр червяка прове-

рывается специальной индикаторной скобой (рис. 8.13, *а*), у которой два неподвижных зуба 2 вводятся во впадины червяка, а верхний подвижный зуб 1, находящийся также во впадине, связан с индикатором.

Угол профиля витков проверяется при помощи нормальных угловых шаблонов с базой от наружного диаметра. Для более точных червяков угол профиля проверяется на специальном приборе по схеме, показанной на рис. 8.13, *б*. Осевой шаг червяка проверяется на приборе с индикатором (рис. 8.13, *в*). Проверка концентричности его оси с осью опорных шеек показана на рис. 13, *г*, *д*. На рис. 8.13, *е* показана схема устройства для контроля профиля витка глобоидного червяка.

8.5. Протягивание зубьев зубчатых колес

Протягивание наружных и внутренних поверхностей фасонных сложных форм обеспечивает высокую производительность и точность обработки. Поэтому этот способ стали применять для нарезания зубьев. Обработка протягиванием впадин между двумя или несколькими зубьями производится последовательно протяжкой с профилем, соответствующим профилю зубьев нарезаемого зубчатого колеса. После каждого прохода протяжки, за который она обрабатывает впадину между двумя или несколькими зубьями (в зависимости от конструкции протяжки), заготовка поворачивается посредством делительного механизма стола. Таким способом нарезают зубья венцов больших размеров на вертикально-протяжных станках с круглым поворотным столом; при этом формируется достаточно точный профиль зубьев, но достичь высокой точности шага трудно из-за погрешностей в делительном механизме стола. Протягиванием обрабаты-

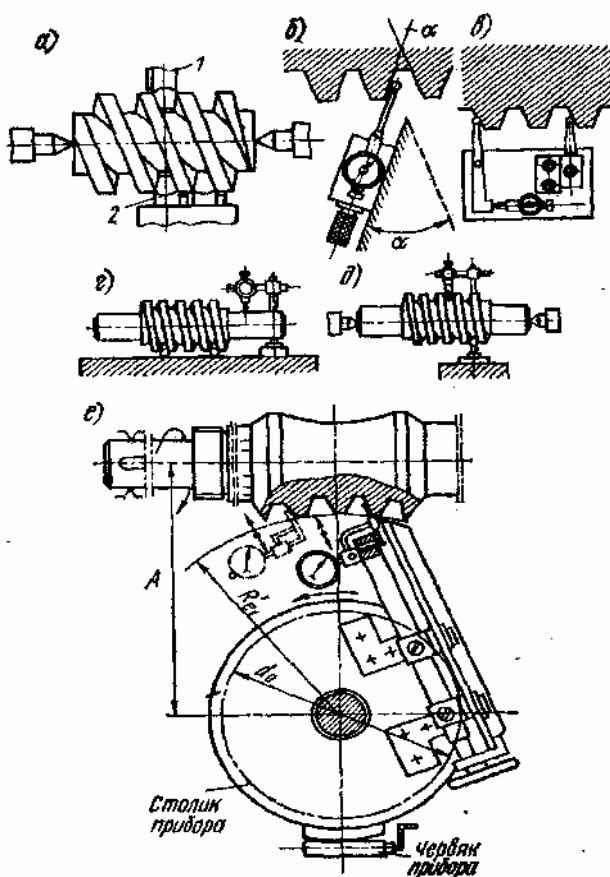


Рис. 8.13. Контроль червяков:
а – среднего диаметра специальной скобой;
б – угла профиля; *в* – осевого шага – прибором с индикатором; *г* и *д* – концентричности опорных шеек; *е* – профиля глобоидного червяка

вают зубчатые секторы на обычных горизонтально-протяжных станках, при этом за один ход протяжки 2 нарезают все зубья сектора и поворота сектора не требуется. На рис. 8.14 показано протягивание зубьев сектора.

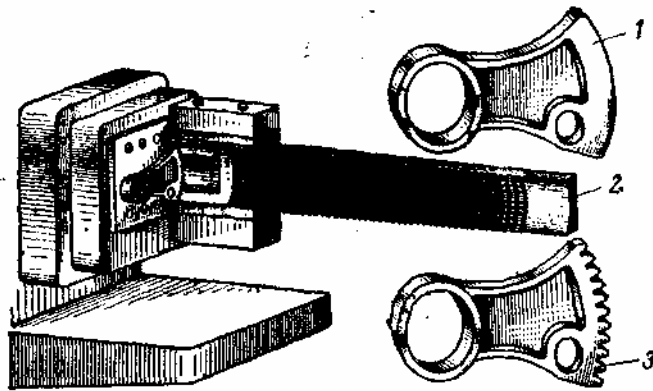


Рис. 8.14. Протягивание зубьев сектора:
1 – заготовка, 2 – протяжка; 3 – протянутый сектор

Производительность такого способа обработки зубчатых секторов и точность по профилю и шагу зубьев получаются высокими.

Одновременное протягивание всех зубьев зубчатых колес не имеет широкого применения по причине сложности конструкций протяжек и затруднений при удалении стружки.

8.6. Нарезание зубьев конических зубчатых колес

Для нарезания зубьев конических зубчатых колес 7 – 8-й степеней точности требуются специальные зуборезные станки; при отсутствии их конические зубчатые колеса с прямым и косым зубом можно нарезать на универсально-фрезерном станке при помощи делительной головки дисковыми модульными фрезами; конечно, точности обработки при этом способе ниже (9 – 10-я степени).

Заготовку 1 конического зубчатого колеса устанавливают на оправке в шпиндель делительной головки 2 (рис. 8.15, а), который поворачивают в вертикальной плоскости до тех пор, пока образующая впадина между двумя зубьями не займет горизонтального положения. Нарезаются зубья обычно за три хода и только при малых модулях – за два хода. При первом ходе фрезеруется впадина между зубьями шириной b_2 (рис. 8.15, б), форма фрезы соответствует форме впадины на ее узком конце. Второй проход про-

изводят модульной фрезой, профиль которой соответствует наружному профилю зуба, поворачивая при этом стол с делительной головкой на угол α :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b_1 - b_2}{2l}, \quad (8.11)$$

где b_1 – ширина впадины между зубьями на ее широком конце в мм; b_2 – ширина впадины между зубьями на ее узком конце в мм; l – длина впадины в мм.

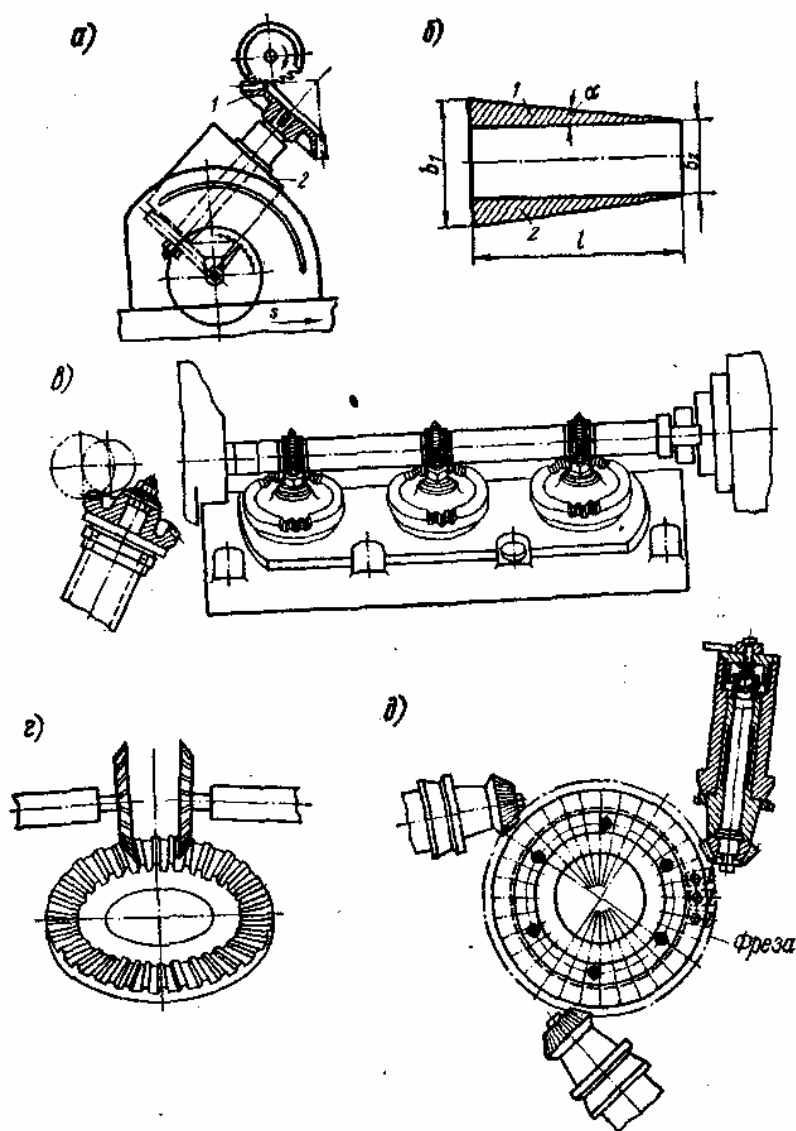


Рис. 8.15. Зубофрезерование конического зубчатого колеса:

- a* – установка заготовки на оправке; *б* – схема фрезерования впадины между зубьями;
- в* – одновременно трех заготовок; *г* – одной заготовки двумя дисковыми фрезами;
- д* – трех заготовок специальной дисковой фрезой

При таком положении фрезеруются все левые бока зубьев (площадка *1* – рис. 8.15, *б*). За третий ход фрезеруются все правые бока зубьев (пло-

щадка 2), для чего делительную головку поворачивают на тот же угол, но в противоположном направлении.

Указанный способ нарезания зубьев малопроизводителен, а точность обработки соответствует примерно 10-й степени. Для нарезания прямых зубьев точных конических колес в серийном и массовом производстве применяют более производительные станки – зубострогальные, на которых обработка зубьев производится методом обкатки. При обработке зубьев с модулем свыше 2,5 их предварительно прорезают профильными дисковыми фрезами методом деления; таким образом, сложные зубострогальные станки не загружаются предварительной грубой обработкой, и, следовательно, они лучше используются для точной обработки.

На рис. 8.15, в показано предварительное фрезерование зубьев трех конических зубчатых колес одновременно на специальном или специализированном станке, применяемом в крупносерийном и массовом производстве. Станок снабжен устройством для автоматического деления и одновременного поворота всех обрабатываемых заготовок.

Основное время при предварительном нарезании прямозубых конических колес дисковыми модульными фрезами на многошпиндельных станках определяется по формуле

$$t_O = \frac{(l_O + l_{BP} + l_{\Pi})}{S_M m} Zi + \frac{\tau Z}{m} \text{ (мин)}, \quad (8.12)$$

где l_O – длина нарезаемого зуба в мм; l_{BP} – длина врезания в мм; l_{Π} – длина перегиба в мм; Z – число зубьев нарезаемого колеса; S_M – минутный путь в направлении подачи в мм; $S_M = S_Z Z_{\Phi} n_{\Phi}$; S_Z – подача на зуб фрезы в мм; S_{Φ} – число зубьев фрезы; Z_{Φ} – число оборотов фрезы в минуту; i – число ходов (обычно $i = 1$); m – число одновременно нарезаемых конических колес; τ – время на быстрый отвод и подвод стола с заготовками в исходное положение и поворот заготовок на один зуб в мин.

Длина врезания l_{BP} определяется по формуле

$$l_{BP} = \sqrt{t(D_{\Phi} - t + (1 \div 2))} \text{ (мм)}, \quad (8.13)$$

где t – наименьшая глубина прорезаемой впадины между зубьями в мм; D_{Φ} – диаметр фрезы в мм. Длина перебега $l_{\Pi} = 2 \div 5$ мм.

На рис. 8.15, г показано предварительное фрезерование зубьев двумя дисковыми фрезами на специальном станке.

В крупносерийном и массовом производстве для предварительного (чернового) нарезания зубьев небольших конических зубчатых колес применяют зуборезные станки для одновременного фрезерования трех загото-

вок с автоматическим делением, остановам, подводом и отводом стола. На рис. 8.15, *д* изображена схема расположения шпинделей трехшпиндельного высокопроизводительного станка для одновременного фрезерования зубьев на трех заготовках, расположенных вокруг специальной дисковой фрезы. Станочник поочередно устанавливает заготовки на оправках рабочих головок, подводит головку до упора и включает самоход. Все остальные движения производятся автоматически: рабочая подача, отход нарезаемого колеса и поворот его на один зуб, следующий подвод, выключение, когда остальные две головки продолжают работать.

Основное время при предварительном нарезании конических зубчатых колес с прямыми зубьями наборной фрезой большого диаметра на высокопроизводительных трехшпиндельных станках определяется по формуле

$$t_0 = \frac{(t + \tau)Z}{60m} \text{ (мин)}, \quad (8.14)$$

где t – время нарезания одного зуба в с; τ – время на отвод и подвод шпинделя с заготовкой в исходное положение и поворот заготовки на один зуб в с; Z – число зубьев нарезаемого конического колеса; m – число одновременно нарезаемых конических зубчатых колес.

Окончательное чистовое нарезание зубьев примерно 8-й степени точности производится строганием на зубострогальных станках (рис. 8.16, *а*). Станки эти работают методом обкатки (рис. 8.16, *б*): два строгальных резца (1 и 2) совершают прямолинейные возвратно-поступательные движения вдоль зубьев обрабатываемой заготовки; при обратном ходе резцы немного отводятся от обрабатываемой поверхности для уменьшения бесполезного изнашивания режущей кромки от трения; взаимное обкатывание заготовки и резцов обеспечивает получение профиля эвольвенты. Время нарезания зуба в зависимости от материала, модуля, припуска на черновую обработку и других факторов колеблется от 3,5 до 30 с.

Для обработки прямых зубьев небольших конических зубчатых колес применяют производительный метод – круговое протягивание зубьев (рис. 8.17, *а*) на специальных зубопротяжных станках. Режущим инструментом служит круговая протяжка 1 (рис. 8.17, *б*), состоящая из нескольких секций фасонных резцов (15 секций по пять резцов в каждой секции). Резцы с изменяющимся профилем расположены в протяжке в последовательном порядке для чернового, получистового и чистового нарезания зубьев. Каждый резец при вращении круговой протяжки снимает определенный слой металла с заготовки 2 в соответствии с величиной припуска.

Протяжка вращается с постоянной угловой скоростью и в то же время совершает поступательное движение, скорость которого различна на отдельных участках проходимого пути.

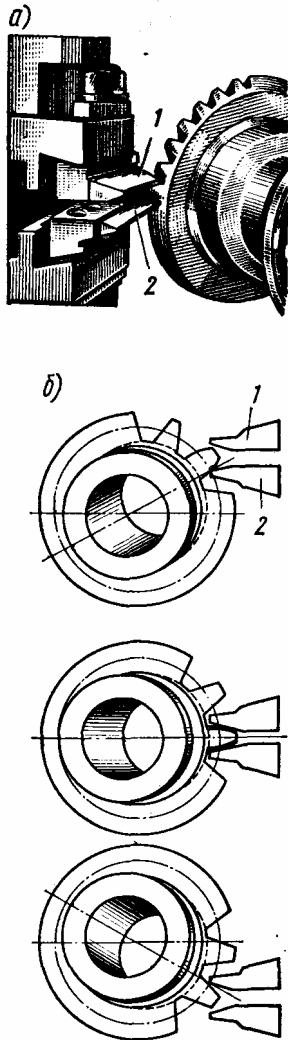


Рис. 8.16. Нарезание конического зубчатого колеса на зубострогальном станке:
a – установка резцов; *б* – схема обкатки;
 1 и 2 – резцы

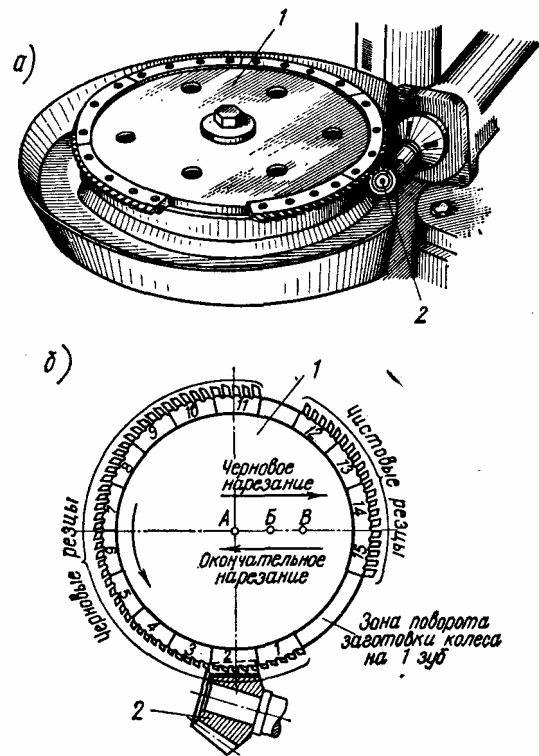


Рис. 8.17. Круговое протягивание зубьев конического зубчатого колеса:
 1 – круговая протяжка;
 2 – нарезаемое колесо

При черновом и получистовом нарезании протяжка имеет поступательное движение от вершины начального конуса к его основанию, а при чистовом в обратном направлении, от основания к вершине, за один оборот протяжки она полностью обрабатывает одну впадину зубчатого колеса. Во время резания обрабатываемая заготовка неподвижна, для обработки следующей впадины она поворачивается на один зуб в то время, когда подходит свободный от резцов сектор круговой протяжки.

Описанный способ нарезания зубьев отличается высокой производительностью (в 2 – 3 раза более высокой по сравнению со строганием), в то же время точность обработки соответствует точности, достигаемой при нарезании методом обкатки.

Основное время нарезания зубьев конического зубчатого колеса методом кругового протягивания определяется по формуле

$$t_0 = \frac{(t + \tau)Z}{60} \text{ (мин)}, \quad (8.15)$$

где t – время нарезания одного зуба в с; τ – время поворота заготовки на один зуб в с; Z – число зубьев нарезаемого конического класса.

Нарезание конических зубчатых колес с криволинейными зубьями производится на специальных станках, работающих методом копирования (врезания) и методом обкатки. Режущим инструментом являются резцовые головки (рис. 8.18, *a*) преимущественно двух типов: цельные и со вставными резцами. Цельные головки изготовляют с номинальным диаметром от 12,7 (1/2") до 50,8 мм (2") для нарезания зубчатых колес мелких модулей. Резцовые головки диаметром 88,9 мм (3 1/2") и до 457,2 (18") изготовляют со вставными резцами.

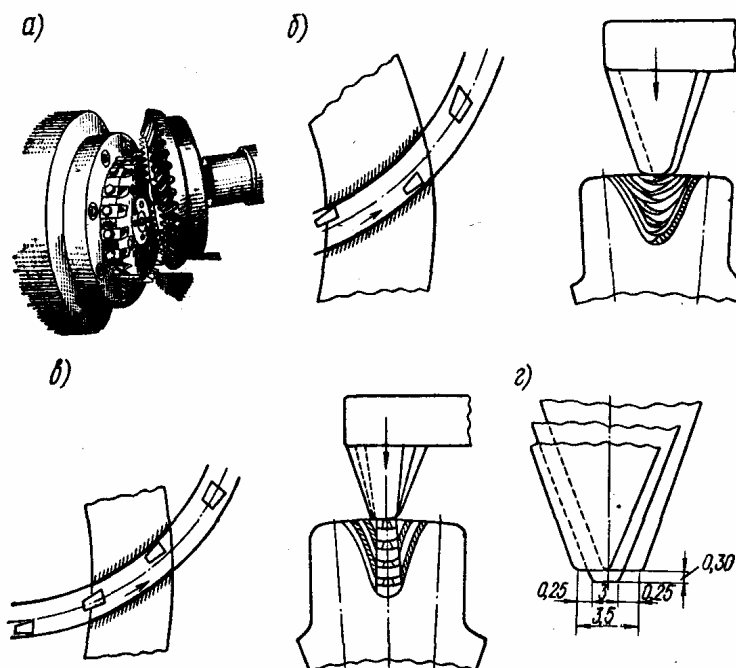


Рис. 8.18. Нарезание конического зубчатого колеса с криволинейными зубьями:
a – односторонняя резцовая головка; *б* – схема работы двусторонней головки;
в, з – схема работы трехсторонней головки

Резцовые головки подразделяются по роду обработки, для которой они предназначаются, на черновые (для черновых проходов) и чистовые (для чистовых проходов). Различаются также одно-, двух- и трехсторонние резцовые головки.

Для чернового нарезания зубьев применяют двух- и трехсторонние резцовые головки. Двусторонние головки применяют при нарезании зубьев методом обкатки и методом копирования, а трехсторонние – только при работе методом копирования.

Двусторонние головки режут наружными и внутренними резцами, расположенными поочередно. Каждый резец одновременно обрабатывает боковую сторону зуба и часть впадины (рис. 8.18, б). Трехсторонние головки в отличие от двусторонних имеют наружные, внутренние и средние резцы. Наружные и внутренние резцы обрабатывают только боковые стороны зуба, а средние – только впадины зубьев (рис. 8.18, в, г).

Чистовые резцовые головки – одно- и двусторонние – используются главным образом для окончательного нарезания зубьев после чернового нарезания.

У односторонних головок резцы все наружные или все внутренние. Наружные резцы служат для вогнутой стороны зубьев, внутренние – для выпуклой. Резцы чистовых головок срезают только металл с боковых сторон зубьев.

Черновое зубонарезание конических колес с большим количеством зубьев производится методом копирования, когда обрабатываемая заготовка закреплена неподвижно, а вращающаяся резцовая головка перемещается вдоль оси и прорезает впадины зубьев поочередно. Этот метод более производительен, чем метод обкатки, применяемый для нарезания колес с малым количеством зубьев.

Чистовое нарезание зубьев конических колес обычно производится методом обкатки; колеса с большим количеством зубьев нарезаются обычно двусторонними головками, а с малым количеством – односторонними.

Основное время нарезания конических зубчатых колес с криволинейными зубьями определяется по формуле

$$t_0 = \frac{(t + \tau)Z}{60} \text{ (мин)}, \quad (8.16)$$

где t – время нарезания одной впадины зуба в с; τ – время поворота заготовки на один зуб, подвод и отвод ее в исходное положение в с; Z – число зубьев нарезаемого зубчатого колеса.

8.7. Закругление зубьев зубчатых колес

У зубчатых колес, предназначенных для коробок передач и других зубчатых колес, переключающихся на ходу, для облегчения включения производится закругление торца зубьев на специальных зубозакругляющих станках при помощи пальцевых фрез методом копирования (рис. 8.19, а).

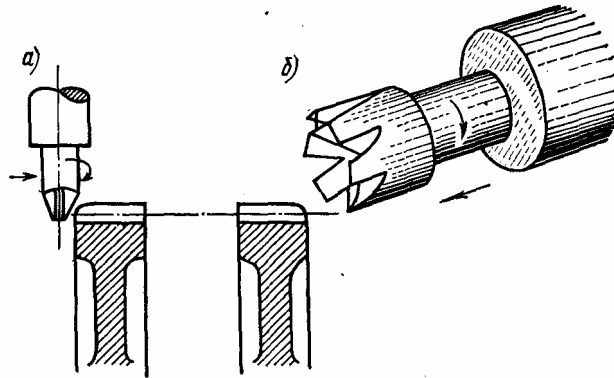


Рис. 8.19. Закругление зубьев цилиндрических зубчатых колес:
а – пальцевой фрезой; б – пустотелой фрезой

В процессе работы пальцевая фреза вращается и одновременно перемещается по дуге с возвратно-поступательным движением, огибая кромку зуба обрабатываемого колеса, которая периодически отводится в осевом направлении, поворачивается вокруг оси на один зуб и подводится к фрезе. Время обработки каждого торца зуба 1 – 3 с. Большая производительность достигается при закруглении зубьев пустотелой фрезой, показанной на рис. 8.19, б.

Основное время закругления торцов зубьев пальцевой и пустотелой фрезой определяется по формуле

$$t_0 = \frac{(t + \tau)Z}{60} \text{ (мин)}, \quad (8.17)$$

где t – время на обработку одного зуба в с; τ – время поворота зубчатого колеса на один зуб, подвод и отвод фрезы в исходное положение в с; Z – число зубьев зубчатого колеса.

8.8. Накатывание зубьев зубчатых колес

Накатывание в 15 – 20 раз производительнее зубонарезания и, кроме того, отходы металла составляют всего 3 – 4 % от веса заготовки. Зубья модулем до 1 мм накатываются в холодном состоянии, а более 1 мм – горячим или комбинированным (так называемым горяче-холодным) способом.

Выбор способа накатывания зубьев зависит не только от модуля, но и от конфигурации зубчатого колеса, требуемой точности зубьев и рода материала.

В холодном состоянии мелко модульные зубчатые колеса можно накатывать на токарных станках с продольной подачей. Схема такого накатывания показана на рис. 8.20, *а*. В переднем *1* и заднем *5* центрах устанавливается оправка, вращающаяся от шпинделя станка. На оправке устанавливаются заготовки *4* и делительное зубчатое колесо *2*, находящееся в начале процесса в зацеплении с двумя или тремя накатниками, закрепленными на суппорте станка. По выходе из зацепления с делительным зубчатым колесом *2* накатники приводятся во вращение зубьями накатанной части заготовок. Для образования симметричного профиля зубьев накатывание производится сначала в одном, а потом в обратном направлении с ускоренным обратным вращением шпинделя. Накатники *3* и *б* представляют собой зубчатое колесо с модулем, равным модулю накатываемого колеса. Каждый накатник имеет заборную часть для постепенного образования накатываемых зубьев. Степень точности зубьев зубчатых колес при холодном накатывании примерно 8-я. Разработан другой способ холодного накатывания зубьев (способ «ротофло»), предназначенный для получения прямых и косых зубьев цилиндрических зубчатых колес и особенно зубьев на концах валов. Сущность этого способа заключается в том, что заготовка, установленная в центрах специального стана, накатывается двумя накатниками, имеющими форму плоских реек. При горячем накатывании заготовки нагревают токами высокой частоты до 1000 – 1200 °С за 20 – 30 с до накатывания зубьев. Накатывание производится двумя накатниками.

Горячее накатывание производится как с радиальной, так и с продольной подачей на специальных мощных станах. Схема накатывания с радиальной подачей показана на рис. 8.20, *б*, где накатники *2* вращаются на передвигающихся в поперечном направлении шпинделях *1*. Накатываемая заготовка *3* закрепляется на оправке *4*. Заготовка вращается под воздействием зубьев накатников, осуществляющих пластическое деформирование металла заготовки на величину высоты зуба. На обоих торцах накатников имеются реборды *5*, способствующие лучшему заполнению формы зубьев.

Перед накатыванием заготовка с оправкой опускается в высокочастотный индуктор, имеющий форму петли, в котором она нагревается; затем заготовка поднимается и подвергается накатыванию, причем индуктор автоматически отводится в сторону.

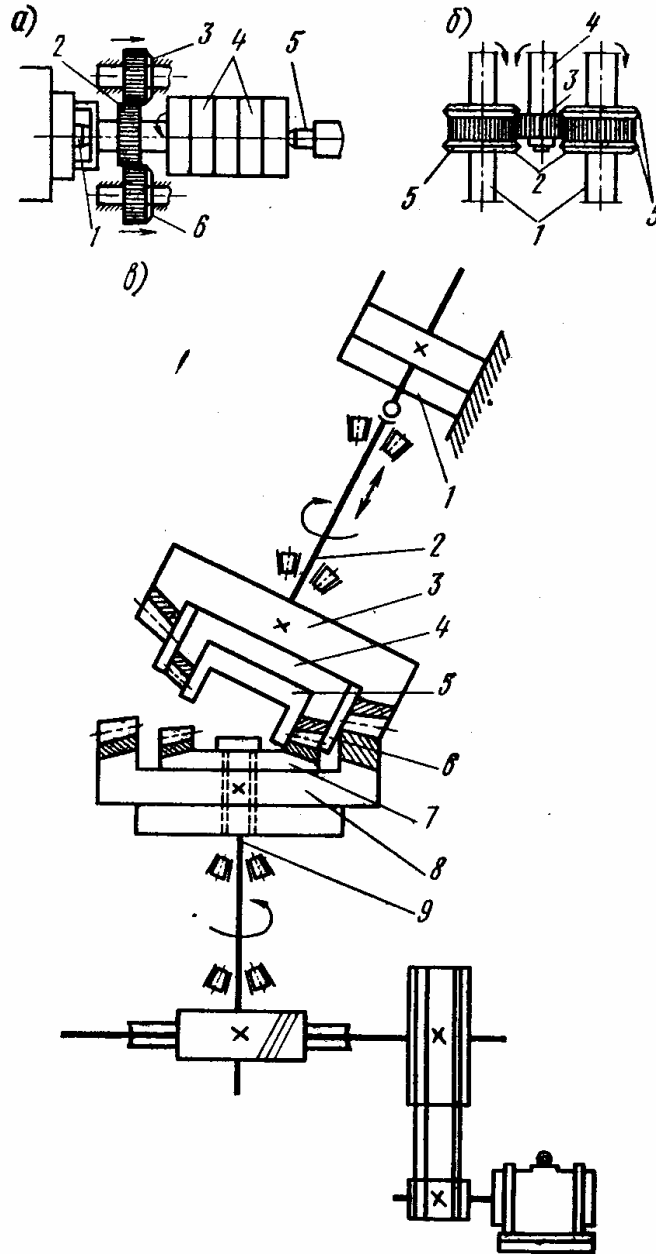


Рис. 8.20. Методы накатывания зубьев зубчатых колес:
а – на токарном станке; *б* – на специальном станке;
в – конического колеса на специальном станке

Горячее накатывание с продольной подачей производится путем перемещения заготовок, нагретых в индукторе, обычно снизу вверх.

Штучное время накатывания зубьев на заготовках зубчатых колес с модулем 2 – 3 мм составляет от 30 до 60 с в зависимости от числа зубьев. Точность зубьев таких зубчатых колес соответствует 9-й степени.

Повысить точность зубьев можно, применяя комбинированное накатывание, представляющее собой горячее накатывание с последующим холодным калиброванием, заменяющее собой зубофрезерование. На калиб-

рование зубьев затрачивается времени меньше в 5 (и более) раз, чем на зубофрезерование. Точность зубьев после калибрования соответствует точности обработки зубьев под шевингование.

В настоящее время накатываются в горячем состоянии зубья конических колес с крупным модулем. На рис. 8.20, в приведена схема зубонакатного стана для накатывания криволинейных зубьев конического венца заднего моста автомобиля ЗИЛ. Штампованную заготовку обрабатывают на токарных полуавтоматах. Затем ее устанавливают и закрепляют на нижний шпиндель зубонакатного стана. При помощи индуктора производится нагрев поверхности заготовки в течение одной минуты на величину, равную высоте зуба, до $1220^{\circ} - 1250^{\circ}\text{C}$.

Индуктор автоматически отводится, и подводится верхний шпиндель 2 с зубонакатником 4 и колесом-синхронизатором 3, сцепляемым с коническим колесом-синхронизатором 8, закрепленным на нижнем шпинделе 9. Зубья нижнего колеса-синхронизатора входят в зацепление с зубьями верхнего колеса-синхронизатора 3, и во вращение приводится зубонакатник 4, зубья которого и реборды 5 и 6 образуют зубья накатываемого венца 7.

Общее время накатки 1,5 минуты. Экономия легированной стали около 40 %. Требуемая точность зубьев получается после чистовой механической обработки зуба. Величина припуска при этом равна 0,2 – 0,3 мм на сторону зуба.

Применение накатывания помимо значительного снижения времени обработки повышает срок службы зубчатых колес благодаря увеличению их износостойкости.

Накатывание фрезерованных зубьев цилиндрических и конических зубчатых колес упрочняет поверхности зубьев, чем значительно повышается износостойкость как незакаленных, так и закаливаемых токами высокой частоты зубьев.

8.9. Способы чистовой отделки зубьев зубчатых колес

С увеличением быстроходности машин возникла настоятельная необходимость в бесшумно работающих зубчатых колесах. Шум, вызываемый зубчатыми колесами, часто обусловлен ненормальными условиями работы зубчатой передачи, влекущими за собой ускоренное изнашивание зубьев. Шум вредно влияет на человеческий организм. Весь комплекс причин возникновения шума при работе зубчатых колес еще недостаточно

изучен. Улучшение качества зубчатых колес, способствующее уменьшению шума, достигается:

1) нарезанием зубьев с точностью, выражаемой сотыми и тысячными долями миллиметра;

2) термической обработкой с применением планирования и газовой цементации, дающих значительно меньшую деформацию зубчатых колес, чем обычная цементация и закалка;

3) применением рациональных способов окончательной чистовой обработки зубьев, позволяющих достигнуть высокой точности зубчатых колес.

Помимо стремления усовершенствовать способы окончательной обработки зубьев изыскиваются способы уменьшения шума путем подбора конфигурации коробок скоростей, применения гибких зубчатых колес из специальных сортов стали, зубчатых колес из неметаллических материалов (пластмасс, текстолита и др.).

Причины шума зависят не только от качества обработки зубьев, но и от сборки зубчатых передач, неточности изготовления корпусов и валиков, деформации валиков, несущих зубчатые колеса, смазки и пр.

Окончательная чистовая отделка зубьев производится следующими способами: 1) обкаткой; 2) шевингованием; 3) шлифованием; 4) притиркой и приработкой.

Обкаткой называется процесс получения гладкой поверхности зубьев незакаленного зубчатого колеса путем вращения его между тремя вращающимися закаленными шлифованными зубчатыми колесами (эталоном), точность которых достигает ± 5 мкм. При этом получается некоторое исправление небольших погрешностей в форме зуба.

Шевингованием называется процесс чистовой отделки зубьев незакаленного зубчатого колеса, заключающийся в снятии (соскабливании) очень мелких волосообразных стружек, благодаря чему значительно исправляются эксцентриситет начальной окружности, ошибки в шаге, в профиле эвольвенты и в угле подъема винтовой линии.

Шевингование (или иначе шевинг-процесс) производится двумя способами. *По первому способу* шевингование выполняется при помощи специального инструмента, называемого шевером. Шевер представляет собой режущее зубчатое колесо с прорезанными на боковых сторонах каждого зуба канавками глубиной 0,8 мм. Эти канавки образуют режущие кромки, которые и соскабливают волосообразную стружку. На рис. 8.21 представлены общий вид и схемы шевингования. Оправка с обрабатываемым зубчатым колесом (рис. 8.21, а) закрепляется в центрах стола станка, шевер

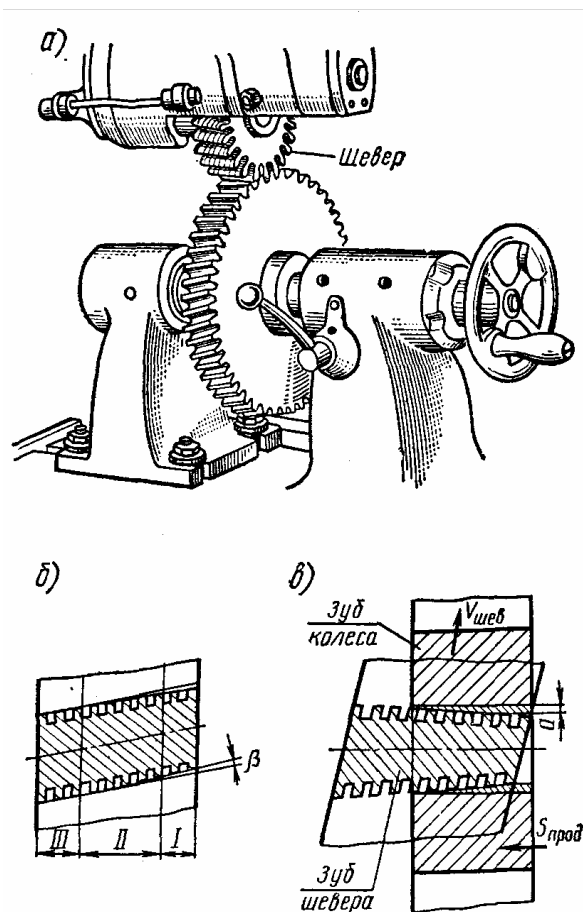


Рис. 8.21. Шевингование цилиндрического зубчатого колеса дисковым шевером: а – общий вид; б и в – схема шевингования за один проход

Основное время при шевинговании зубьев цилиндрических зубчатых колес дисковым шевером определяется по следующей формуле:

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{BP} + l_{ПЕР})Z}{n_{ШЕВ}Z_{ШЕВ}S_{ПР}} + \frac{a}{S_B}K \text{ (мин)}, \quad (8.18)$$

где l_0 – длина зуба в мм; l_{BP} и $l_{ПЕР}$ – врезание и перебег, в сумме равные 10 мм; Z – число зубьев зубчатого колеса; a – припуск на шевингование на сторону по профилю зуба в мм; $n_{ШЕВ}$ – число оборотов шевера в мин; $Z_{ШЕВ}$ – число зубьев шевера; $S_{ПР}$ – продольная подача в мм на один оборот зубчатого колеса; S_B – вертикальная подача на один ход стола в мм; K – коэффициент, учитывающий дополнительные калибрующие проходы; $K = 1,1 \div 1,2$.

Окружная скорость вращения шевера при шевинговании зубчатых колес, изготовленных из стали, принимается около 100 м/мин. Продольная подача зубчатого колеса $S_{ПР}$ около 0,25 мм/об.

располагается над зубчатым колесом под углом 15° , образуя с колесом как бы винтовую пару со скрещивающимися осями. Приведенный во вращение шевер вращает обрабатываемое зубчатое колесо, которому придается осевое возвратно-поступательное перемещение, называемое продольной подачей ($S_{ПР} = 0,15 \div 0,3$ мм на один оборот зубчатого колеса). При этом шевер равномерно соскабливает стружку по всей ширине зуба. Помимо вращения и осевого движения обрабатываемого зубчатого колеса для равномерного снятия стружки по всему профилю зуба стол станка имеет вертикальное перемещение $S_B = 0,025 \div 0,04$ мм на один ход стола. После окончания каждого хода стола шевер получает вращение в обратную сторону зуба.

Для предварительной обработки число ходов 4 – 6, для окончательной 2 – 4. Припуск на шевингование принимается 0,04 – 0,03 мм на сторону зуба.

Припуск под шевингование принимается по следующим данным (на сторону зуба):

Модуль в мм 2 3 4 5 6
 Припуск в мм 0,03 0,04 0,05 0,055 0,06

Шевингование повышает точность предварительной обработки зубьев примерно на 1 – 2 степени точности.

Исправление погрешностей зубчатых колес шевингованием характеризуется данными, приводимыми в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Данные, характеризующие исправление погрешностей зубчатых колес шевингованием

Наименование погрешности	Величины погрешностей в мм		
	до шевингования	после шевингования	
		для прямых зубьев	для косых зубьев
Суммарная ошибка межцентрового расстояния	0,06 – 0,1	0,025	0,02
Радиальное биение	0,05 – 0,07	0,01 – 0,02	0,01
Отклонение профиля	0,04 – 0,08	0,01 – 0,02	0,01
Отклонение направления зуба	0,05	0,015	0,01
Накопленная ошибка шага	0,05 – 0,07	0,03 – 0,04	0,03
Неравномерность окружного шага между двумя зубьями	0,04 – 0,05	0,015 – 0,02	0,01– 0,015

Шевингование зубьев колес за один проход

В настоящее время в металлообработке все большее распространение получает способ шевингования зубчатых колес средних модулей за один проход шеверами специальной конструкции. Зубья таких шеверов имеют три группы зубчиков (рис. 8.21, б): заборные *I*, режущие *II* и калибрующие *III*. Боковые поверхности правой и левой сторон заборной и режущей частей зубьев шевера составляют с соответствующими боковыми поверхностями калибрующей части углы β .

Такая конструкция шевера позволяет снимать весь припуск за один рабочий и один обратный (калибрующий) ход стола, осуществляемый при постоянном расстоянии между осями шевера и колеса.

В ряде случаев специальные шеверы могут быть изготовлены путем перешлифовки стандартных шеверов шириной 20 – 25 мм. При этом заборная и режущая части должны иметь не менее четырех-шести режущих кромок каждая.

Производительность обработки при шевинговании за один проход увеличивается в 2 – 3 раза благодаря сокращению количества циклов до одного и исключению радиальных перемещений стола с обрабатываемым колесом, неизбежных при шевинговании стандартными шеверами.

Точность колес после обработки специальными шеверами несколько выше, чем при использовании стандартных шеверов, это объясняется тем, что обработка производится при постоянном межосевом расстоянии шевера и зубчатого колеса; кроме того, отсутствие механизма для радиальной подачи стола повышает жесткость системы СПИЗ.

Стойкость таких шеверов в 3 раза выше стойкости стандартной конструкции благодаря увеличению числа режущих кромок, одновременно участвующих в работе, и уменьшению нагрузки на каждую из них. Повышение стойкости обусловлено также улучшением условий врезания зубьев шевера, которое происходит плавно и непрерывно не в радиальном, а в осевом направлении. Кроме того, калибрующие зубчики не участвуют в срезании основного припуска a (рис. 8.21, в).

Широкое применение находит производительный метод шевингования с диагональной подачей. Этот метод предусматривает поступательное перемещение обрабатываемого зубчатого колеса не параллельно его оси, а под углом α , равным 5° и более (рис. 8.22). Вследствие этого уменьшается длина хода и число проходов можно принять меньше, чем при обычном шевинговании (с продольной подачей), что в целом значительно сокращает время обработки. Время шевингования одного зуба с модулем 2 – 3 мм при продольной подаче равно 2 – 3 с, а при диагональной подаче – около 1 с.

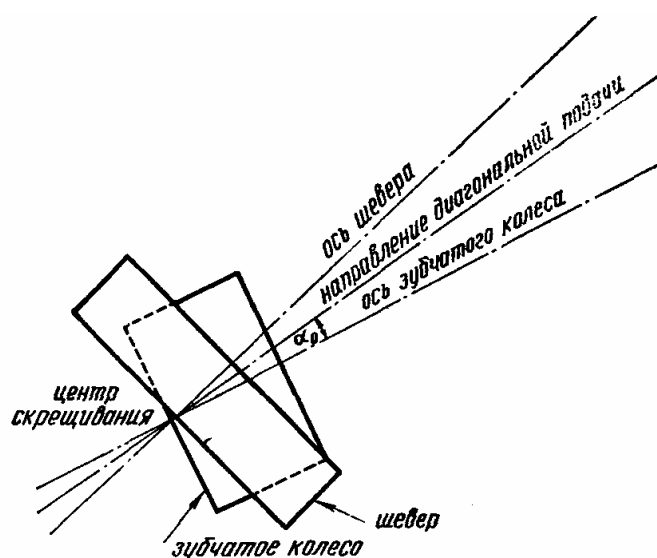


Рис. 8.22. Схема шевингования с диагональной подачей

На автомобильных и тракторных заводах шевингованием иногда образуют зубья, концы которых на 0,02 – 0,03 мм тоньше середины, что придает им бочкообразную форму (рис. 8.23, а).

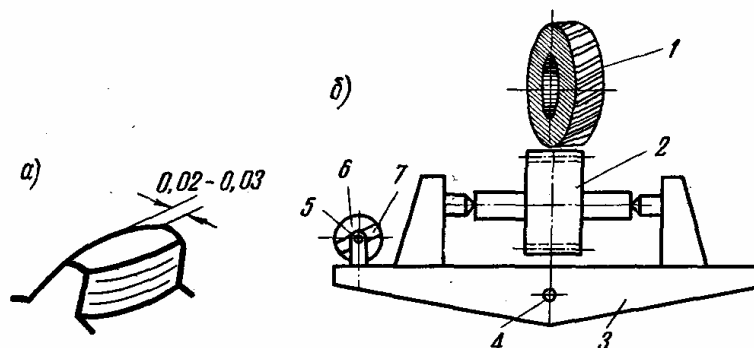


Рис. 8.23. Шевингование бочкообразного зуба:

а – форма бочкообразного зуба; б – качающееся приспособление;
 1 – шевер; 2 – обрабатываемое зубчатое колесо; 3 – качающаяся плита; 4 – ось основания;
 5 – палец; 6 – диск с наклонным пазом; 7 – наклонный паз

Такая форма зубьев обрабатываемого шевером 1 зубчатого колеса 2 получается посредством применения на шевинговальных станках специального качающегося приспособления (рис. 8.23, б). На столе станка устанавливается основание приспособления, на оси 4 которого посредством пальца 5 качается плита 3. Палец 5 при продольном передвижении стола перемещается по наклонному пазу 7 диска 6, закрепленного на неподвижном кронштейне и устанавливаемого под требуемым углом.

Благодаря значительному повышению посредством шевингования точности зубчатых колес и высокой производительности шевингование зубчатых колес применяют не только в массовом и крупносерийном производстве, но и в серийном и даже в мелкосерийном. При отсутствии специальных станков для шевингования можно приспособить вертикально-фрезерный станок с поворотной фрезерной головкой, обеспечивающей образование угла скрещивания осей шевера и зубчатого колеса.

По второму способу шевингование производится при помощи специального инструмента другого вида – шевер-рейки (рис. 8.24, а), состоящей из отдельных зубьев с канавками, образующими режущие кромки на стороне каждого зуба. В процессе обработки стол станка с закрепленной на нем шевер-рейкой имеет возвратно-поступательное движение. Так же, как и обычный (дисковый) шевер, шевер-рейка изготавливается с наклонными зубьями для обработки зубчатых колес с прямым зубом. Для случая обра-

ботки зубчатых колес с косым зубом (с углом наклона около 15°) шевер-рейка имеет прямые зубья, расположенные перпендикулярно оси. В том и другом случае образуется винтовое зубчатое зацепление с обрабатываемым зубчатым колесом. Обработка одного зубчатого колеса производится примерно за 15 – 20 двойных ходов стола.

На рис. 8.24, б показана схема, поясняющая осуществление продольного скольжения зубьев шевер-рейки по зубьям зубчатого колеса.

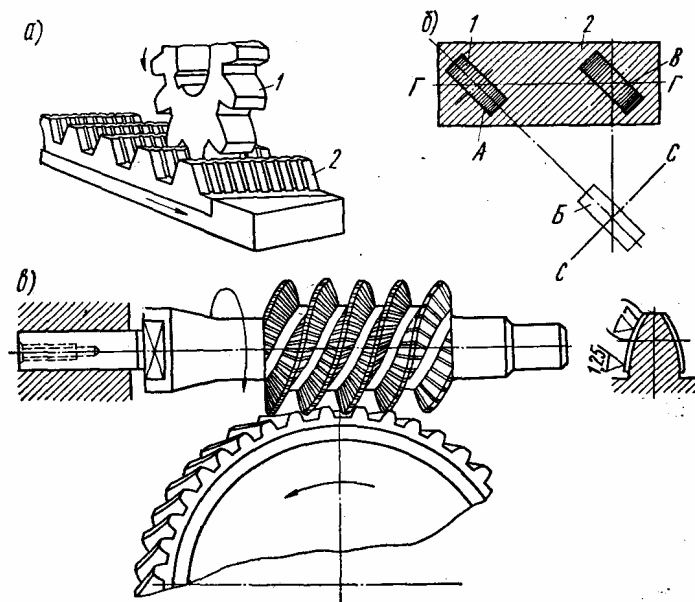


Рис. 8.24. Шевингование шевер-рейкой и шевер-червяком:
 а – шевер-рейкой; б – схема скольжения шевер-рейки по зубьям зубчатого колеса;
 в – шевер-червяком червячного колеса

Если обрабатываемое зубчатое колесо *1* свободно катить по шевер-рейке *2* из положения *A*, то оно должно было бы переместиться в положение *B*. Но так как зубчатое колесо и шевер-рейка представляют собой как бы винтовую зубчатую пару со скрещивающимися осями, то колесо передвинется не в положение *B*, а в положение *B'*. В результате создается относительное скольжение зубьев обрабатываемого зубчатого колеса и шевер-рейки, определяемое отрезком между положениями зубчатых колес *B* и *B'*.

При этом режущие кромки шевера срезают тонкую стружку с поверхности обрабатываемых зубьев колеса.

После каждого хода стола зубчатое колесо перемещается в вертикальном направлении вниз. Таким образом, осуществляется вертикальная подача в пределах 0,025 – 0,04 мм.

Шевингование обычно производят со смазочно-охлаждающей жидкостью – сульфофрезолом или веретенным маслом. По причине высокой

себестоимости инструмента, плохой вымываемости стружки из зубьев шеввер-рейки, невозможности обработки бочкообразных зубьев шевингование шеввер-рейками не имеет широкого применения.

Шевингование зубьев производится до термической обработки закаливаемых зубчатых колес. Большинство зубчатых колес после шевингования поступает в термическую обработку, которая несколько снижает достигнутую точность и шероховатость поверхности. Тем не менее, при изготовлении точных зубчатых колес шевингование применяют до термической обработки, с тем, чтобы в максимальной степени исключить ошибки механической обработки.

Одним из основных преимуществ шевингования является возможность ограничиваться только нарезанием зубьев на зубофрезерных станках (с последующим шевингованием), не прибегая к чистовому нарезанию на зубодолбежных станках.

На рис. 8.24, в показана схема шевингования червячной шестерни специальным червяком-шевером.

8.10. Шлифование зубьев зубчатых колес

Шлифование зубьев увеличивает точность незакаливаемых и в особенности закаливаемых зубчатых колес, которые деформируются во время термической обработки.

Шлифование зубьев с эвольвентным профилем производится:

- 1) методом копирования при помощи фасонного круга с эвольвентным профилем;
- 2) методом обкатки.

Станки, работающие по методу копирования, производят шлифование кругом, профиль которого соответствует впадине зубьев, аналогично дисковой модульной фрезе. Круг заправляется особым копировальным механизмом при помощи трех алмазов (рис. 8.25, а).

Круг шлифует две стороны двух соседних зубьев. Для зубчатых колес с различными модулями и количеством зубьев надо иметь отдельные шаблоны для заправки круга алмазами. Такие станки применяются в массовом и крупносерийном, а иногда и в среднесерийном производстве.

При шлифовании зубьев по методу копирования в случае зубчатых колес с большим числом зубьев имеет место значительный износ шлифовального круга; если зубья шлифуются последовательно, то между первым и последним зубьями будет получаться наибольшая ошибка; для предотвращения этого рекомендуется поворачивать зубчатое колесо не на один

зуб, а на несколько; тогда влияние изнашивания шлифовального круга не будет давать большой ошибки между соседними зубьями. Достижимая этим методом точность равна 0,010 – 0,015 мм.

Станки, работающие по методу копирования, получили довольно широкое распространение благодаря значительно большей производительности по сравнению со станками, работающими по методу обкатки; однако эти станки дают меньшую точность.

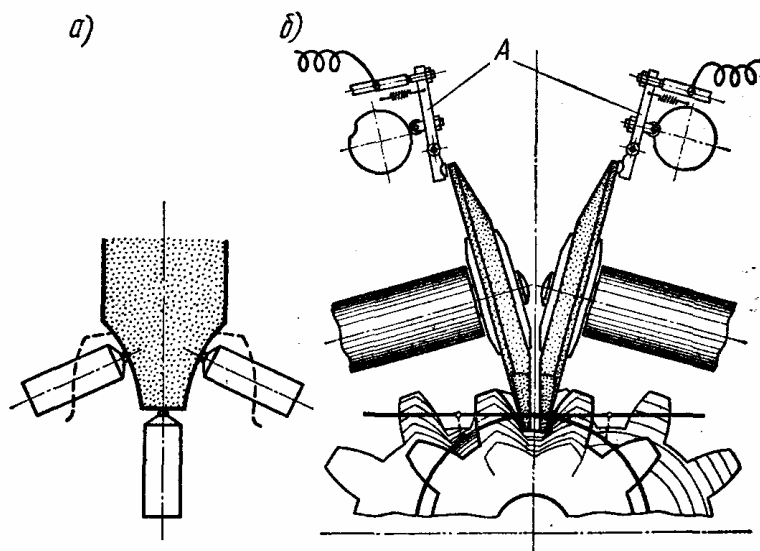


Рис. 8.25. Зубошлифование:

a – заправка тремя алмазами профиля шлифовального круга, работающего методом копирования; *б* – обработка двумя тарельчатыми шлифовальными кругами методом обкатывания

Основное время при зубошлифовании методом копирования определяется по формуле

$$t_0 = \frac{2Li\alpha}{1000v_{CT}} Z \text{ (мин)}, \quad (8.19)$$

где L – длина хода стола в мм; i – число ходов; α – коэффициент, учитывающий время деления, т. е. поворота зубчатого колеса на зуб ($\alpha = 1,3 - 1,5$); Z – число зубьев зубчатого колеса; v_{CT} – скорость возвратно-поступательного движения стола в м/мин. Длина хода стола L определяется по формуле

$$L = l_0 + \sqrt{h(D_K - h) + 10} \text{ (мм)}, \quad (8.20)$$

где l_0 – длина шлифуемого зуба зубчатого колеса в мм, h – высота зуба зубчатого колеса в мм; D_K – диаметр круга в мм.

Второй метод шлифования зубьев – *метод обкатки* – менее производительен, но дает большую точность (до 0,0025 мм); шлифование производится одним или двумя кругами.

Распространенный способ шлифования зубьев методом обкатки осуществляется на зубошлифовальных станках с двумя тарельчатыми кругами, расположенными один по отношению к другому под углом 30 и 40° или образующими как бы профиль расчетного зуба, по которому и происходит обкатка зубчатого колеса (рис. 8.25, б). В процессе работы шлифуемое зубчатое колесо перемещается в направлении, перпендикулярном своей оси, одновременно поворачиваясь вокруг этой оси.

Помимо этого, шлифуемое зубчатое колесо имеет возвратно-поступательное движение вдоль своей оси, что обеспечивает шлифование профиля зуба по всей его длине.

Для шлифования одно или набор из нескольких зубчатых колес закрепляется в оправке, которая крепится в центрах бабок, расположенных на столе станка; стол имеет возвратно-поступательное движение на величину, равную суммарной ширине зубчатых колес, увеличенной на вход и выход шлифовального круга. Автоматический поворот зубчатого колеса на один зуб происходит после одно-, двукратного прохождения зубчатого колеса под шлифовальным кругом. Припуск на шлифование составляет 0,1 – 0,2 мм на толщину зуба и снимается за два прохода или более.

Тарельчатые круги шлифуют зубья узкой полоской в 2 – 3 мм, поэтому давление и нагрев незначительны, что повышает точность шлифования. Для предотвращения погрешностей, связанных с изнашиванием шлифовальных кругов, станки снабжаются специальными приспособлениями для их автоматической регулировки.

Основное время при зубошлифовании на станках, работающих методом обкатки двумя тарельчатыми кругами, определяется по формуле

$$t_O = \left(\frac{Li}{n_O S_{PP}} + i\tau \right) Z_3 \text{ (мин)}, \quad (8.21)$$

где L – длина хода стола в мм; i – число ходов; n_O – число обкатов в минуту; S_{PP} – продольная подача на один обкат в мм; τ – время на переключение и деление в мин; Z_3 – число зубьев зубчатого колеса. Длина хода стола L определяется по формуле

$$L = l_O + 2 \left[\sqrt{h(D_K - h)} + 5 \right] \text{ (мм)}, \quad (8.22)$$

где l_O – длина шлифуемых зубьев в мм; h – высота зуба в мм; D_K – диаметр круга в мм.

При шлифовании зубьев нескольких зубчатых колес одновременно за l_0 принимается длина зуба и ступицы и тогда

$$t_0 = \left(\frac{Li}{n_0 S_{ПП}} + i\tau \right) \frac{Z}{m} \quad (\text{мин}), \quad (8.23)$$

где $L = l_0 m + 2 \left[\sqrt{h(D_K - h)} + 5 \right]$ (мм);

m – число одновременно обрабатываемых зубчатых колес.

Станки для зубошлифования, работающие методом обкатки двумя тарельчатыми кругами, имеют устройство A (см. рис. 8.25, б), компенсирующее изнашивание кругов в процессе шлифования и в процессе правки их алмазом.

Такие устройства обеспечивают постоянство положения рабочей кромки круга при его износе. Постоянство положения рабочей кромки круга обеспечивается автоматическим перемещением шпинделя вместе с кругом вдоль оси на величину износа от шлифования и правки.

Шлифование зубьев двумя тарельчатыми кругами без продольной подачи осуществляется на специальных шлифовальных станках, на которых установлены тарельчатые круги большого диаметра (700 – 800 мм), шлифующие зуб по всей длине без возвратно-поступательного движения зубчатого колеса вдоль своей оси. При таком шлифовании основание впадины зуба колеса образуется не по прямой, а по дуге окружности с радиусом, равным радиусу шлифовального круга. На таких станках рекомендуется шлифовать узкие зубчатые колеса, т. е. имеющие зубья небольшой длины. Отсутствие продольной подачи, а следовательно, и потери времени на врезание кругов значительно повышают производительность этого метода по сравнению с предыдущим.

Применяется также шлифование зубьев методом обкатки одним дисковым кругом, представляющим как бы зуб рейки (рис. 8.26, а). Шлифуемое зубчатое колесо имеет обкаточное движение и продольную подачу вдоль зуба. После обработки одного зуба зубчатое колесо поворачивается для обработки следующего зуба.

Шлифование зубьев таким методом обычно происходит за два оборота зубчатого колеса. Окончательное шлифование производят при втором обороте с уменьшенной продольной подачей круга. Между предварительным и окончательным шлифованием круг автоматически правится. Простая форма круга и наличие движения обкатки позволяют получать довольно точные зубчатые колеса, но производительность такого зубошлифования невысока.

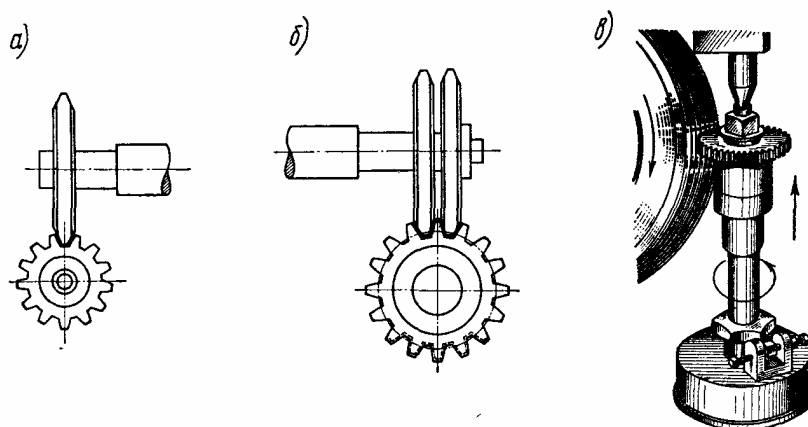


Рис. 8.26. Зубошлифование цилиндрического зубчатого колеса:
a – одним абразивным кругом; *б* – двумя абразивными кругами;
в – абразивным червячным кругом

Более прогрессивным методом является шлифование зубьев методом обкатки на станках с двумя дисковыми абразивными кругами, расположенными параллельно (рис. 8.26, б); производительность этих станков значительно выше, чем станков с одним таким же кругом.

Получает также распространение производительный метод шлифования прямых и криволинейных зубьев цилиндрических зубчатых колес модулем до 7 мм и диаметром до 700 мм абразивным кругом, заправленным в виде червяка (рис. 8.26, в).

Этим методом, осуществляемым на специальных станках, можно также прорезать зубья с модулем до 1 мм абразивным червячным кругом в сплошном металле. Правят червячный круг последовательно черновым и чистовым дисковыми многониточными накатниками.

Шлифование прямых зубьев конических зубчатых колес по методу обкатки двумя дисковыми абразивными кругами производится на новых станках, сконструированных на базе зубострогальных (рис. 8.27, а).

Криволинейные зубья конических зубчатых колес шлифуются чашечным абразивным кругом (рис. 8.27, б). Сечение боковой стороны круга должно иметь профиль зуба рейки. Чашечный круг, вращаясь со скоростью 20 – 30 м/с, обкатывает рабочую поверхность профиля шлифуемого зуба.

Зубошлифовальные станки снабжаются устройствами для подачи охлаждающей жидкости обычным способом или через шлифовальный круг, что предохраняет зубья шлифуемых колес от отпуска в процессе шлифования.

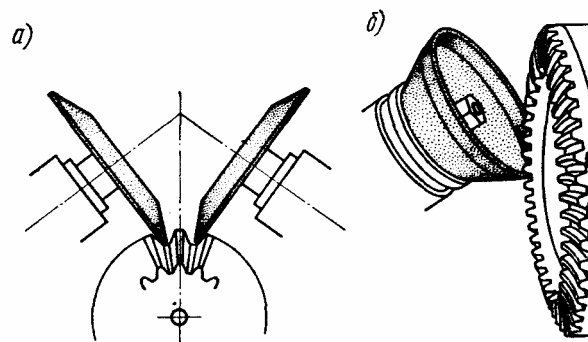


Рис. 8.27. Зубошлифование конического зубчатого колеса:
a – с прямым зубом; *б* – с криволинейным зубом

Для окончательной отделки поверхности прямых, косых и криволинейных зубьев цилиндрических зубчатых колес начинают применять хонингование. Хон изготавливают в виде геликоидального зубчатого колеса из пластмассы, пропитанной мелкозернистым абразивом.

Хонингуемое зубчатое колесо, находясь в зацеплении с хоном (без зазора), совершает реверсируемое вращение (попеременно в обе стороны) и возвратно-поступательное движение вдоль своей оси.

Хонингование всех зубьев зубчатых колес модулем 2 – 3 мм, с числом зубьев 30 – 40 производится за 30 – 40 с при обильном охлаждении керосином.

Припуск под хонингование составляет 0,02 – 0,05 мм на сторону зуба. Станки для хонингования зубьев зубчатых колес во многом аналогичны станкам для шевингования без устройства для радиальной подачи.

8.11. Притирка зубьев зубчатых колес и рекомендации по выбору способов чистовой отделки зубьев зубчатых колес

Притирка (ляппинг-процесс) широко применяется для чистовой, окончательной отделки зубьев после их термической обработки вместо шлифования, которое является операцией сравнительно малопродуктивной. Притирка получила большое распространение в тех отраслях машиностроения, где требуется изготовление точных зубчатых колес (автомобилестроение и др.). Процесс притирки заключается в том, что обрабатываемое зубчатое колесо вращается в зацеплении с чугунными шестернями-притирами, приводимыми во вращение и смазываемыми пастой, состоящей из смеси мелкого абразивного порошка с маслом. Помимо этого обрабатываемое зубчатое колесо и притиры имеют в осевом направлении возвратно-

поступательное движение друг относительно друга: такое движение ускоряет процесс обработки и повышает ее точность. Большой частью движение в осевом направлении придается притираемому зубчатому колесу.

Притирочные станки изготавливаются с параллельными (рис. 8.28, *а*) и скрещивающимися (рис. 8.28, *б*) осями притиров.

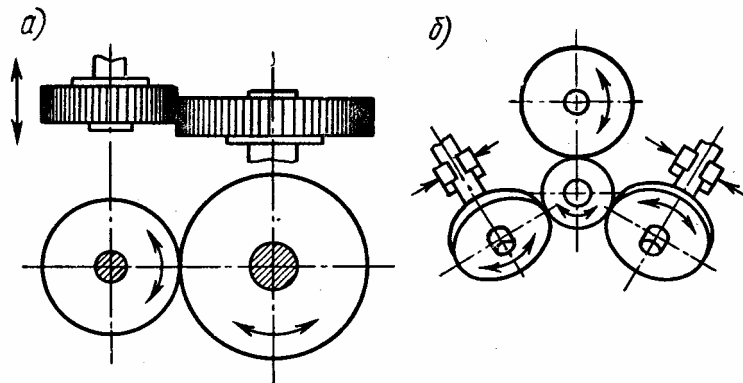


Рис. 8.28. Схемы притирки зубьев цилиндрических зубчатых колес:
а – с параллельными осями притиров; *б* – со скрещивающимися осями притиров

Наибольшее распространение получили притирочные станки, работающие со скрещивающимися осями притиров, устанавливаемых под разными углами; один притир часто устанавливается параллельно оси обрабатываемого зубчатого колеса. При таком расположении притиров зубчатое колесо работает, как в винтовой передаче, и путем дополнительного осевого перемещения притираемого зубчатого колеса притирка происходит равномерно по всей боковой поверхности зуба. Притираемое зубчатое колесо получает вращение попеременно в обе стороны для равномерной притирки обеих сторон зуба, а необходимое давление на боковой поверхности зубьев во время притирки создается гидравлическими тормозами, действующими на шпиндели притиров.

Иногда применяют притирку зубьев зубчатых колес чугуном червячным притиром диаметром 300 – 400 мм, используя для этого зубофрезерные станки.

Притирка дает поверхности высокого качества, она сглаживает неровности и шероховатости и придает зеркальный блеск поверхности, значительно уменьшая шум и увеличивая плавность работы зубчатых колес. Притирка дает лучшую по качеству поверхность зубьев, чем шлифование, но при условии правильного изготовления зубчатого колеса, так как притиркой можно исправить лишь незначительные погрешности; при наличии

же значительных погрешностей зубчатые колеса необходимо сначала шлифовать, а затем притирать.

Приработка зубьев отличается от притирки тем, что притираются не зубчатое колесо с притиром, а два парных зубчатых колеса, изготовленных для совместной работы в собранной машине. Приработка производится при помощи абразивного материала, который ускоряет взаимную приработку зубьев зубчатых колес и придает им гладкую поверхность.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что наиболее производительным и рациональным способом получения точных зубьев является шевингование, применяемое после нарезания зуба, но до термической обработки, после которой для исправления небольших искажений в профиле и шаге и получения чистой поверхности зубьев целесообразно применить притирку и только в случае значительной деформации прибегать к шлифованию зубьев.

Поэтому наиболее рациональным надо считать следующий порядок обработки зубчатых колес:

- 1) операции, предшествующие нарезанию зубьев;
- 2) нарезание зубьев;
- 3) шевингование зубьев;
- 4) термическая обработка;
- 5) притирка зубьев.

8.12. Методы контроля обработки зубьев зубчатых колес

Зубчатые колеса, являющиеся основной частью многих механизмов и агрегатов (коробок скоростей, коробок передач, редукторов и т. п.), должны быть изготовлены точно, так как погрешность любого из отдельных элементов зубчатого колеса может вызвать неравномерность его хода и вибрацию, что повлечет за собой преждевременный износ и выход из строя деталей, а иногда всего агрегата.

Целью контроля зубчатых колес помимо проверки их как готовой продукции является также определение погрешностей зуборезных и других станков, на которых производится обработка зубчатых колес, и выявление состояния применяемого для обработки режущего и измерительного инструмента.

При изготовлении зубчатых колес станки, инструмент и операции термической обработки являются источниками погрешностей отдельных элементов зубчатых колес; эксцентриситет начальной окружности являет-

ся главным образом погрешностью центрирования заготовки на зуборезном станке или биения планшайбы или шпинделя станка.

Неточность шага по начальной окружности может быть следствием низкого качества зуборезного инструмента, а также погрешностей делительного механизма станка.

Неточность профиля зуба может зависеть от станка, инструмента и установки зубчатого колеса на столе станка.

Равномерность шага зубьев цилиндрических зубчатых колес проверяют предельной или индикаторной скобой или микрометром, которыми измеряют расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к эвольвентным поверхностям зубьев. На основании данных измерения указанного расстояния путем расчета можно определить толщину зуба. Индикаторная скоба дает возможность точно определять конусность и спиральность зубьев, в то время как предельными скобами это невозможно выявить.

Шаг зубьев в направлении линии зацепления часто измеряют с помощью шагомера. Шагомером проверяется расстояние между боковыми сторонами соседних зубьев; расстояние между наконечниками шагомера устанавливается по эталону.

Толщину зуба по начальной окружности измеряют штангензубомером, который является универсальным инструментом, но дает сравнительно невысокую точность. Вертикальный его движок устанавливается на определенном расстоянии, немного превышающем высоту головки зуба; эта величина определяется по табличным данным; после этого горизонтальным движком измеряют толщину зуба по начальной окружности. Более точный промер дает оптический зубомер (с точностью до 0,02 мм).

Профиль зуба проверяют прибором-эвольвентомером со специальным эталонным диском, который меняется для различных зубчатых колес.

Диаметр начальной окружности зубчатого колеса можно проверить при помощи роликов точного диаметра; число роликов равно 2 или 3 в зависимости от числа зубьев – четного или нечетного.

Комплексная проверка зубчатых колес заключается в проверке правильности зацепления; производится она на приборах, на которых проверяется зацепление с эталонным зубчатым колесом или зацепление парных, т. е. работающих вместе, зубчатых колес.

Принцип устройства таких приборов заключается в том, что индикатор или самопишущий прибор регистрирует сдвиг проверяемого зубчатого

колеса в направлении, перпендикулярном его оси, когда оно находится в неправильном зацеплении с эталоном или парным зубчатым колесом.

Правильность зацепления часто проверяют по отпечатку при обкатке с эталонным зубчатым колесом. На поверхность зубьев эталонного зубчатого колеса наносят тонкий слой краски и проворачивают его вместе с проверяемым зубчатым колесом, находящимся в зацеплении с эталонным колесом. Полученные отпечатки указывают поверхность контакта зубьев, и их сравнивают с формой отпечатка, который задан техническими условиями.

Правильность зацепления часто проверяют также по шуму; чем полнее касание сопрягаемых поверхностей зубьев, тем меньший шум издают вращающиеся зубчатые колеса, поэтому с целью уменьшения шума подбирают пары с лучшим прилеганием поверхностей зубьев. Проверка по шуму производится на особых станках и заключается в прослушивании тона и равномерности шума, издаваемого двумя совместно работающими зубчатыми колесами, на слух и с помощью измерения специальным звуковым индикатором или звукозаписывающими приборами (фонометрами и др.).

Измерение (контроль) всех основных элементов колеса – процесс чрезвычайно трудоемкий. Кроме того, даже измерив погрешности элементов, невозможно в нужной мере достоверно судить о совокупном влиянии этих погрешностей на качество зацепления. Представление об этом дают лишь комплексные методы контроля, основанные на оценке результатов зацепления проверяемого колеса с эталонным колесом измерительного прибора. Поэтому стандартами нормируются не допуски на элементы колеса, а допуски на разные показатели комплексной проверки (кинематическая погрешность, циклическая погрешность, пятно контакта при контроле по краске и боковой зазор) по 12 степеням точности (1-я степень – высшая) [2, 3].

9. ОБРАБОТКА ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

9.1. Виды и назначение шлицевых соединений

Шлицевые соединения применяют для посадок с натягом или зазором деталей различного назначения (зубчатых колес, шкивов, втулок и др.) на валу. По сравнению со шпоночными шлицевые соединения имеют ряд преимуществ: детали на шлицевых валах лучше центрируются и направляются при передвижении вдоль вала; напряжения смятия на гранях шлицев меньше, чем на поверхностях шпонок; прочность шлицевых валов при динамических и переменных нагрузках выше, чем валов со шпонками.

Наиболее распространены шлицевые соединения с прямоугольной прямобочной (рис. 9.1, а), эвольвентной (рис. 9.1, б) и треугольной (рис. 9.1, в) формой шлицев.

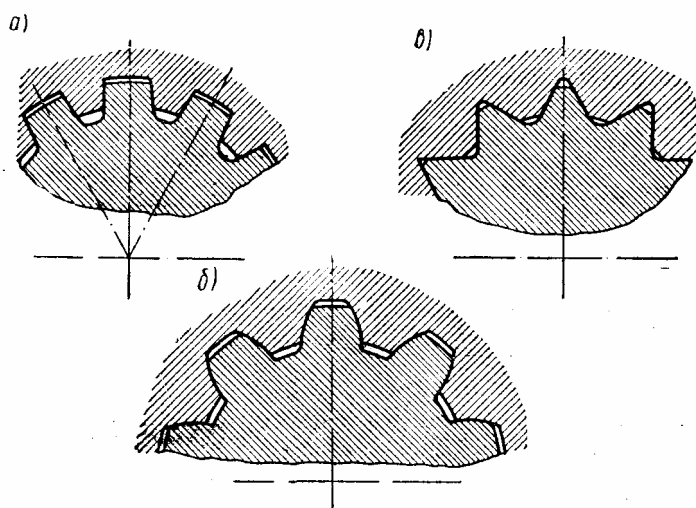


Рис. 9.1. Виды шлицевых соединений

В прямоугольных (в некоторых случаях применяют конические прямоугольные шлицевые соединения с конусностью 1:16) и шлицевых соединениях применяют (для изготовления и эксплуатации) три способа центрирования (базирования) шлицевого вала и втулки (рис. 9.2): 1) по боковым сторонам шлицев; 2) по наружному диаметру шлицев; 3) по внутреннему диаметру шлицев.

Центрирование по боковым сторонам шлицев применяют для соединений с наружным диаметром от 25 до 90 мм в тех случаях, когда точность центрирования втулки не имеет существенного значения и в то же время необходимо обеспечить достаточную прочность соединения в эксплуатации.

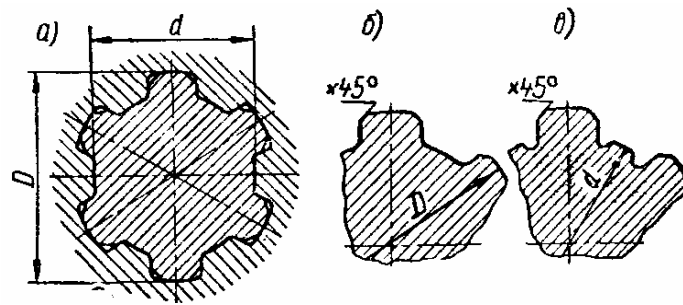


Рис. 9.2. Способы центрирования шлицевых соединений

В механизмах, где основное внимание уделяется кинематической точности передач, например, в механизмах металлорежущих станков автомобилей, тракторов и др., применяют центрирование по наружному (D) или внутреннему (d) диаметрам шлицев (рис. 9.2, а).

Выбор наружного или внутреннего диаметра в качестве центрирующего определяется твердостью поверхностей шлицевых пазов и размерами соединения.

Если шлицевые пазы отверстия термически не обрабатываются или твердость их поверхностей допускает калибрование протяжкой после термообработки, то применяют центрирование по наружному диаметру. Если твердость поверхностей отверстия не позволяет производить калибрование, то применяют центрирование по внутреннему диаметру. Центрирование по внутреннему диаметру применяют также при обработке длинных валов, подвергающихся термообработке, так как в этом случае возможно одновременное шлифование боковых сторон зубьев (выступов) шлицев и внутреннего диаметра вала.

При центрировании по наружному диаметру на углах шлицевых выступов вала (рис. 9.2, б), а при центрировании по внутреннему диаметру в углах шлицевых пазов отверстия делают фаски и скругления.

При центрировании по внутреннему диаметру, а также при необходимости обеспечить контакт боковых сторон зубьев вала и пазов отверстия по возможно большей поверхности в углах впадин шлицевого вала делают канавки (рис. 9.2, в).

Шлицевые валы с прямоугольными зубьями обрабатывают специальными профильными фрезами для каждого значения диаметра и числа зубьев.

Эвольвентное шлицевое соединение используют для передачи значительных крутящих моментов, а также в тех случаях, когда к точности центрирования сопрягаемых элементов предъявляют повышенные требования.

Эти соединения обладают повышенной прочностью вследствие постепенного утолщения зубьев от вершины к основанию зуба, а также

вследствие уменьшения концентрации напряжений у основания. Кроме того, благодаря применению при обработке шлицев червячной фрезы с прямолинейными режущими кромками обеспечиваются более высокие чистота поверхности и точность обработки шлицев, исключая в большинстве случаев последующее шлифование.

При эвольвентном профиле шлицев можно допускать отделочные виды обработки, применяемые при зубонарезании: шевингование, шлифование по методу обкатки и др.

Центрирование эвольвентных соединений осуществляют по наружному диаметру, боковым сторонам шлицев и по вспомогательной цилиндрической поверхности (хвостовику). Наиболее часто применяют центрирование по боковым сторонам шлицев.

Треугольные шлицевые соединения используют главным образом для неподвижных соединений при небольших величинах крутящего момента (чтобы избежать применения прессовых посадок), а также для тонкостенных втулок. Центрирование при этом виде шлицевых соединений осуществляют только по боковым сторонам шлицев.

9.2. Методы обработки элементов шлицевых валов и втулок

Шлицевые поверхности валов обрабатывают на горизонтально-фрезерных станках в делительных приспособлениях, зубофрезерных станках, специальных шлицефрезерных станках, а также на шлифовальных станках (рис. 9.3).

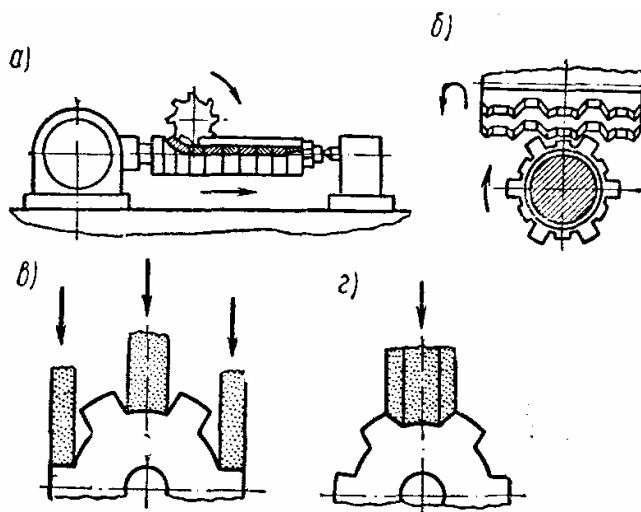


Рис. 9.3. Способы обработки шлицев:

- а* – фрезерованием в делительном приспособлении горизонтально-фрезерного станка;
б – нарезанием на шлицефрезерном станке; *в* и *г* – шлифованием

В последнее время в крупносерийном и массовом производствах шлицефрезерование вытесняется контурным шлицестроганием, шлицепротягиванием, холодным накатыванием роликами или рейками, а также профильными многороликовыми головками. Это объясняется тем, что применение многозаходных фрез для шлицефрезерования ведет к удорожанию стоимости инструмента и не обеспечивает повышенных требований к точности шлицевых поверхностей.

В серийном производстве шлицы на валах обычно фрезеруют в две операции: вначале обрабатывают боковые стороны шлицев двумя дисковыми фрезами одновременно, а затем внутренний диаметр – профильной фрезой.

В массовом производстве весь шлицевой профиль (боковых сторон и внутреннего диаметра) фрезеруют червячной фрезой на зубофрезерных или шлицефрезерных станках.

На рис. 9.4 приведен общий вид шлицефрезерного станка. Обрабатываемый шлицевый вал устанавливают на столе 1 между центрами бабок 2 и 3. Шлицевую фрезу 4 помещают на вертикальном шпинделе; вращается она от общего привода. Наибольшая длина фрезерования – 550 мм, наименьшее количество нарезаемых зубьев – 4.

Шлицевые валы диаметром до 30 мм обычно фрезеруют за один проход, валы больших диаметров нарезают за два прохода. Фрезерование червячной фрезой более производительнее, чем обработка дисковыми и профильными фрезами на горизонтально-фрезерных станках.

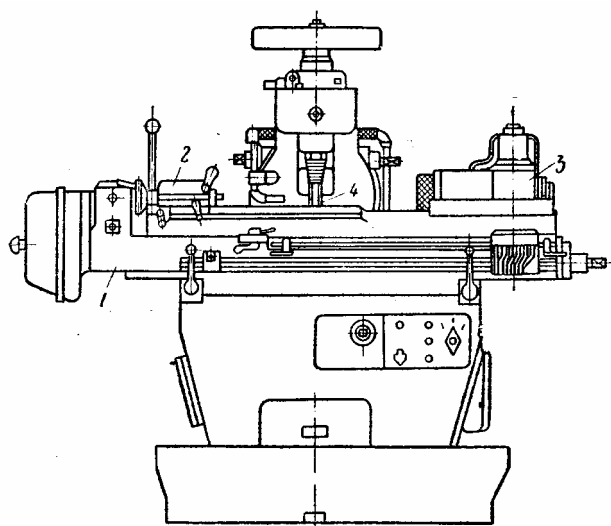


Рис. 9.4. Общий вид шлицефрезерного станка

Шлицевые валы с короткими шлицами, у которых к шлицевой части близко примыкает буртик или ступень большего диаметра (т. е. нет выхода для фрезы), обрабатываются на зубодолбежных станках с помощью специального долбяка.

Центровые отверстия шлицевых валов после термической обработки обычно шлифуют коническим абразивным инструментом.

Шлифование боковых сторон шлицев и внутреннего диаметра шлицевого вала производят за одну или две операции.

В серийном производстве боковые стороны и внутренний диаметр большей частью шлифуют за две операции на обычных плоскошлифовальных станках с прямоугольным столом периферией шлифовального круга: сначала боковые стороны шлицев – двумя кругами, затем внутренний диаметр – одним профильным кругом (см. рис. 9.3, в).

В массовом и крупносерийном производствах боковые стороны и внутренний диаметр шлифуют за одну операцию (см. рис. 9.3, з) на шлищешлифовальных станках. Припуск на боковую сторону шлица и на внутренний диаметр составляет от 0,1 до 0,2 мм (на сторону).

Шлицестрогание производят многорезцовой головкой, в радиальных пазах корпуса которой размещены профильные резцы. Число резцов и их профиль соответствуют числу шлицев и профилю впадины обрабатываемого вала. Для строгания несквозных шлицев в станке предусмотрен ускоренный отвод резцов на установленную длину обработки. Обработку шлицестроганием производят на станке модели МА4, предназначенном для обработки валов, имеющих длину обрабатываемой части от 70 до 370 мм и общую длину до 435 мм. Диаметр обрабатываемых валов 20 – 50 мм. Станок допускает обработку шлицевых впадин как на проход, так и с выходом на поверхность наружного диаметра.

Шлицепротягивание прямоугольных прямобочных шлицев производят двумя блочными протяжками с последующим поворотом (делением) заготовки (рис. 9.5). Этим методом обрабатывают как сквозные, так и несквозные шлицы, допускающие выход инструмента.

Блочные протяжки обеспечивают независимо друг от друга радиальное перемещение каждого зуба протяжки. Копирная линейка позволяет протягивать несквозные шлицы по заданной траектории. Протягивание прямобочных шлицев блочными протяжками производительнее шлицефрезерования в 5 – 10 раз.

Холодное накатывание шлицев производят роликами, рейками, профильными многороликовыми головками. Валы с накатанными шлицами могут выдерживать более высокие нагрузки (примерно на 40 %), чем обработанные резанием. В ряде случаев холодное накатывание шлицев позволяет отказаться от термической обработки шлицевых валов и шлифования шлицев.

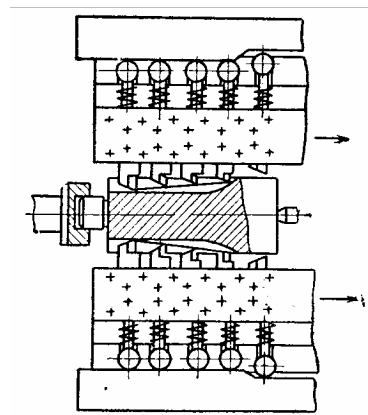


Рис. 9.5. Протягивание шлицев двумя блочными протяжками

Шлицы эвольвентного профиля с модулем до 2,5 мм получают холодным накатыванием двумя или тремя накатными роликами, которые устанавливают по размеру делительной окружности накатываемой детали с учетом упругих деформаций системы.

При накатывании осевое перемещение заготовки осуществляется принудительно. Ролики имеют заборную часть. Заготовка вращается синхронно с накатными роликами и перемещается вдоль оси накатников. Расстояние между накатниками устанавливают заранее и не меняют в процессе накатывания. Обработку заготовки под холодное накатывание роликами выполняют точнее, чем при шлицефрезеровании. Холодной накатке подвергают заготовки твердостью не выше НВ 220.

Этим методом накатывают валы с большим числом шлицев (свыше 18). Чем больше число шлицев, тем плавнее идет процесс накатывания. При накатывании эвольвентных шлицев двумя-тремя роликами получают точность по шагу в пределах до 0,03 мм. При длине шлицев свыше 250 мм этот метод производительнее шлицефрезерования примерно в 10 раз, при длине шлицев свыше 100 мм – в 4 – 7 раз.

Холодное накатывание профильной многороликовой головкой производится по схеме, показанной на рис. 9.6.

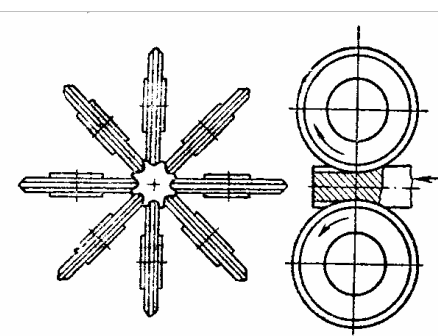


Рис. 9.6. Схема профильного накатывания шлицев

Этот метод накатывания требует особо точного изготовления многороликовой головки.

Инструментальная головка состоит из жесткого закаленного кольца, в котором размещены сегменты (на схеме не показаны), в каждом сегменте установлено по одному профилирующему ролику (на схеме 8 роликов), свободно вращающемуся на осях в подшипниках. Ролики регулируют и заменяют независимо один от другого. Обрабатываемую заготовку закрепляют в центрах зажимного устройства, а многороликовая головка перемещается вдоль оси неподвижной обрабатываемой детали на точно установленную длину.

Прямобоочные шлицы, полученные этим методом, имеют отклонения по ширине в пределах 0,07 – 0,08 мм.

При накатывании профильными роликами пластические деформации проникают на большую глубину в обрабатываемую заготовку. Твердость заготовок не должна превышать НВ 220, поэтому в процессе накатки происходит ее удлинение, вытесненный металл частично размещается и на на-

ружной поверхности детали. После накатывания наружный диаметр обработанной детали несколько увеличивается и поэтому она должна быть подвергнута наружному шлифованию.

При накатывании многороликовыми головками поверхностные слои обрабатываемой детали упрочняются на 20 – 30 %; стойкость инструментальной головки составляет до 100 тыс. деталей. Этот метод обработки высокопроизводительный, но каждая многороликовая головка предназначена для обработки только одного размера шлицев.

Многороликовой головкой можно накатывать и эвольвентные шлицы, если их число не превышает 16 – 18. При большем числе шлицев невозможно разместить ролики в головке.

Шлицевое отверстие втулки предварительно обрабатывают сверлением и зенкованием с подрезкой торца, после чего протягивается круглое отверстие, а затем шлицы. В массовом производстве за счет удлинения протяжки протягивание цилиндрической части и шлицев иногда выполняют одновременно одной протяжкой. После чистовой обработки всех наружных поверхностей или только тех, которые должны быть соосны со шлицевой частью детали, производят термообработку, а затем шлифование внутреннего диаметра шлицевой части.

В качестве базы при этой операции применяют цилиндрическую поверхность, которая с наибольшей точностью должна быть соосна со шлицевой частью вала. Внутренний диаметр шлифуют на внутришлифовальных станках.

Шлицевые валы и втулки контролируют посредством шлицевых профильных калибров. В некоторых случаях внутренний диаметр шлицевого вала контролируют микрометром или предельными кольцами с вырезами для шлицев, а соосность внутреннего диаметра и шейки вала – индикатором [2, 3].

10. ОБРАБОТКА НА РЕВОЛЬВЕРНЫХ И КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКАХ

10.1. Обработка на револьверных станках

Токарно-револьверные станки отличаются от обычных токарных станков тем, что работа на них может производиться комплектом режущих инструментов, установленных в определенной последовательности в револьверной головке и на поперечном суппорте. Поэтому токарно-револьверные станки более производительны, чем обычные токарные станки, и, как правило, применяются в серийном производстве.

На токарно-револьверных станках можно выполнять все виды токарных работ при обработке как штучных заготовок, так и из пруткового материала.

Применение токарно-револьверных станков экономично в тех случаях, когда требуется последовательно или одновременно обтачивать наружные и растачивать внутренние поверхности, сверлить, зенкеровать, нарезать резьбу и т. п., т. е. в случае, когда можно применять одновременно несколько инструментов, а также при обработке деталей партиями. Экономичность револьверных станков по сравнению с токарными достигается за счет сокращения вспомогательного времени. Однако следует учитывать, что режимы резания вследствие недостаточной жесткости системы СПИЗ при револьверных работах значительно снижаются, чем при токарных. Кроме того, существенное значение имеет сложность настройки станка, поэтому при револьверных работах широко используют групповые револьверные наладки, позволяющие осуществлять обработку технологически подобранных деталей.

Токарно-револьверный станок отличается от токарно-винторезного отсутствием задней бабки, на месте которой установлена револьверная головка с кареткой.

Для обработки заготовок из пруткового материала шпиндель станка снабжен специальным механизмом подачи и закрепления прутка.

Револьверная головка имеет различные конструкции. Наиболее распространенными являются шестигранные револьверные головки (рис. 10.1, *а*) с вертикальной осью вращения и круглые револьверные головки (рис. 10.1, *б*) с горизонтальной осью вращения.

В шестигранных револьверных головках с вертикальной осью вращения имеется шесть гнезд для установки инструмента. Станки с такой головкой обычно изготавливают с одним поперечным передним, а иногда с передним и задним суппортами. Последний используют для прорезки канавок, подрезки опорных поверхностей, отрезки заготовок, причем переме-

щать инструменты можно только в поперечном направлении. С помощью переднего суппорта выполняют те же виды обработки, что и на токарно-винторезных станках, кроме нарезания резьбы, которое выполняют, используя револьверную головку; наружную резьбу нарезают плашками, а внутреннюю – метчиками.

На токарно-револьверных станках также можно выполнять сверление, зенкерование и развертывание.

Револьверные головки у всех видов станков перемещают вдоль оси шпинделя станка до упора.

Головка с горизонтальной осью вращения обычно имеет 12 – 16 отверстий для закрепления инструментов. Ее можно поворачивать периодически (для осуществления последовательной работы режущих инструментов), а также медленно и непрерывно (для подрезки, прорезки канавок и отрезки). Такие головки рационально применять в тех случаях, когда при обработке необходимо выполнять несколько переходов с поперечной подачей инструментов, помещенных в револьверной головке.

Наладка револьверного станка заключается в подборе и рациональной группировке инструментов в державке, установке их в головке и суппортах в определенной последовательности, регулировании инструментов в продольном и радиальном направлениях, а также регулировании упоров.

Эффективность использования револьверного станка может быть значительно повышена при совмещении переходов обработки. Так, за один переход можно расточить центральное ступенчатое отверстие и обточить

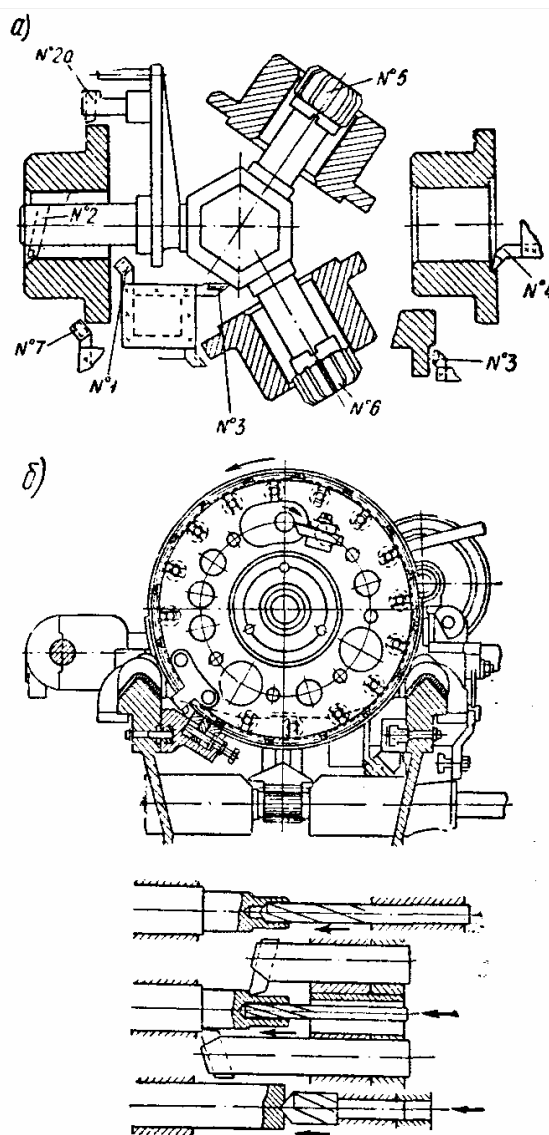


Рис. 10.1. Виды револьверных головок и схемы наладок: а – с вертикальной осью вращения; б – с горизонтальной осью вращения

несколько поверхностей; центрование или сверление можно совместить с обработкой резцом наружной поверхности и т. п.

На рис. 10.2 показано совмещение переходов обработки на станках с вертикальной (*а, б, в*) и горизонтальной (*г, д, е*) осями вращения револьверной головки с использованием комбинированного инструмента, много-резцовых державок и многоместных стоек или державок, позволяющих закреплять в одном гнезде револьверной головки несколько инструментов.

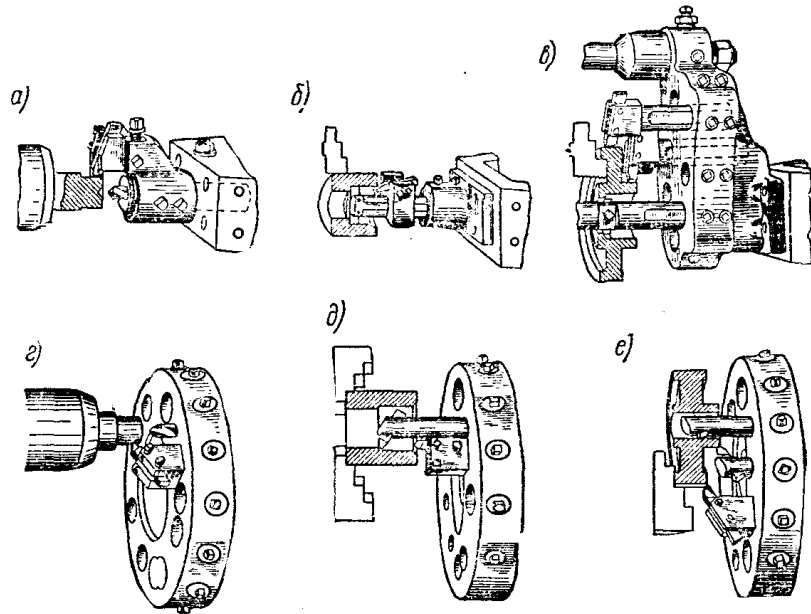


Рис. 10.2. Совмещение переходов обработки

На рис. 10.3 показаны некоторые виды державок для установки различных инструментов в гнездах револьверных головок.

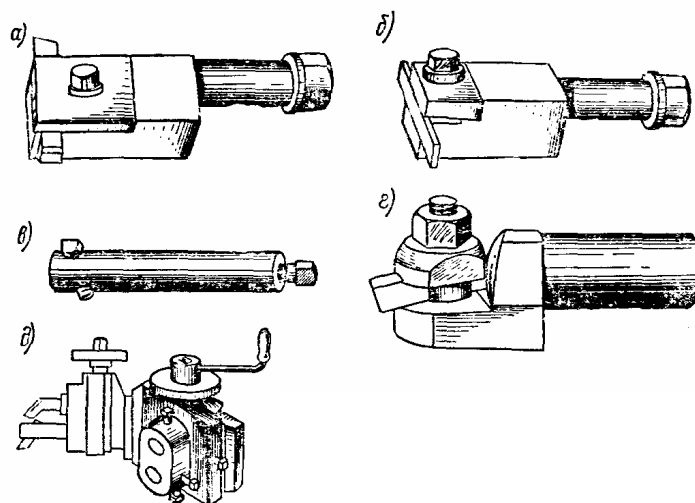


Рис. 10.3. Виды державок к револьверным станкам для крепления резцов:
а – проходного; *б* – отрезного; *в* – расточного; *г* – проходного с креплением на поворотном основании; *д* – вертикальный суппорт

Токарно-револьверные станки в ряде случаев позволяют использовать специальные устройства для автоматизации цикла обработки, включая загрузку заготовок и удаление их со станка после обработки.

10.2. Обработка на токарно-карусельных и токарно-лобовых станках

Токарно-карусельные станки предназначены для обработки больших заготовок, которые трудно установить и обработать на обычных токарных станках.

Заготовки, обрабатываемые на токарно-карусельных станках, имеют размеры от 300 до 7000 мм. Специальные (уникальные) токарно-карусельные станки позволяют обрабатывать заготовки диаметром до 20 м. Вес таких станков доходит до 1800 т. На токарно-карусельном станке выполняют почти все токарные работы, кроме нарезания резьбы, с 4 – 5 одновременно работающими инструментами.

Современные токарно-карусельные станки подразделяют на одно-стоечные и двухстоечные.

Они имеют 18 и более скоростей вращения планшайбы. Так, у карусельных станков, имеющих 36 скоростей вращения планшайбы, число оборотов шпинделя находится в пределах $5,85 \div 134$ в минуту, что позволяет при обработке поверхностей диаметром 1000 мм применять скорость резания 420 м/мин.

На боковом суппорте станка обычной конструкции можно устанавливать один или два резца. Суппорт перемещается горизонтально и вертикально.

Вертикальный суппорт смонтирован на консольной траверсе и перемещается по ней в вертикальном и горизонтальном направлениях. На суппорте имеется резцедержатель с пятью гнездами для инструмента. Резцедержатель можно легко и быстро повернуть и закрепить рукояткой. Закрепление инструмента в резцедержателе производят обычными крепежными средствами.

Все суппорты имеют механическую подачу и реверсируются. Также имеется ускоренная подача для быстрого перемещения в исходное положение.

Токарно-лобовые станки применяют в индивидуальном производстве и в ремонтных мастерских. Они предназначены для обработки крупных

заготовок малой длины и большого диаметра, преимущественно устанавливаемых на планшайбе (рис. 10.4).

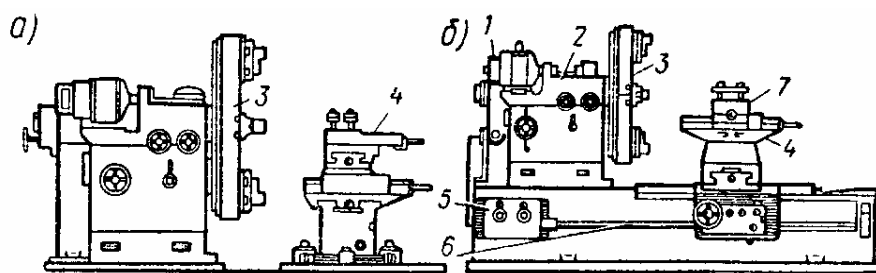


Рис. 10.4. Основные типы токарно-лобовых станков

Современные лобовые токарные станки имеют большой диапазон диаметра планшайб – от 1000 до 4000 мм с пределами чисел оборотов для больших планшайб 17 – 20 в минуту.

Лобовые токарные станки изготовляют двух основных типов: с суппортами, установленными отдельно от бабки станка (рис. 10.4, а), и с суппортами, установленными на станине (рис. 10.4, б) токарных станков.

На коробке скоростей 2 установлен электродвигатель 1. Планшайба 3 укреплена на шпинделе и управляется обычными раздвижными несамодвижущимися кулачками. Резец устанавливают на суппорте 4 (станок может быть снабжен двумя суппортами – передним и задним) в обычном одноместном резцедержателе 7. Если суппорт установлен на общей станине, подача его осуществляется от коробки подач 5 ходовым валом 6 [2, 3].

11. КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА НАРУЖНЫХ И ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

У многих деталей, изготавливаемых из пруткового материала или из литых и штампованных заготовок, часто требуется обработать наружные и внутренние цилиндрические поверхности, нарезать наружную и внутреннюю резьбу. К таким деталям в машиностроении и приборостроении относятся, например, пробки, штуцеры, различные втулки, болты, небольшие шкивы, заготовки для зубчатых колес малых и средних размеров и ряд других.

Обрабатывать наружные и внутренние цилиндрические поверхности и нарезать резьбу можно последовательно по отдельным поверхностям или одновременно по нескольким поверхностям, как наружным, так и внутренним, применяя при этом несколько инструментов. Так, например, можно одновременно обтачивать наружные поверхности и сверлить, зенкеровать, растачивать внутреннюю поверхность.

Для такого процесса механической обработки эффективно применяются в серийном производстве токарно-револьверные станки, в крупносерийном и массовом производстве – полуавтоматы и автоматы.

11.1. Технологические процессы комплексной обработки поверхностей деталей на токарно-револьверных станках

Применение токарно-револьверных станков (так же, как полуавтоматов и автоматов) экономично в тех случаях, когда требуется последовательно или одновременно обтачивать наружные и растачивать внутренние цилиндрические поверхности, сверлить, зенкеровать, развертывать отверстия, нарезать резьбу плашками или метчиками, иначе говоря, когда можно применять одновременно несколько инструментов, располагая их в револьверной головке и на отрезном суппорте. Токарно-револьверные или, короче, револьверные станки становится выгоднее применять, чем обычные токарные, начиная с партии деталей в 6 – 10 шт.

Выигрыш в основном времени при обработке на револьверных станках по сравнению с токарными станками реализуется в том случае, если одновременно применять несколько инструментов, например, сверло, проходной, подрезной и фасочный резцы, или при обтачивании ступенчатой детали – сверло и несколько проходов резцов и т. д. В противном случае существенного выигрыша в основном времени не будет. Уменьшается время обработки главным образом за счет вспомогательного времени, так

как при токарной обработке для каждого перехода приходится заново устанавливать в заднюю бабку (в зависимости от требований) сверло, зенкер, развертку и прочий инструмент. Каждый такой инструмент надо подвести к детали, проверить установку и т. д. На все это требуется много времени. На револьверных станках достаточно только повернуть револьверную головку, подвести ее к месту начала обработки и отвести после окончания. Чем сложнее операция, чем больше в ней различных переходов, тем больше времени приходится затрачивать на смену инструмента, тем выгоднее применение револьверного станка по сравнению с токарным.

Револьверные станки классифицируются по расположению оси револьверной головки относительно оси шпинделя. Изготавливают три типа револьверных станков в зависимости от расположения по отношению к оси шпинделя.

Наиболее распространен тип *I* с вертикальной осью револьверной головки; по такому типу выпускаются станки моделей 1Н318, 1Н325, 1А340, 1В340, 1365, 1Н365, 1371, 1П371.

Меньшее распространение имеет тип *II* с горизонтальной осью револьверной головки, параллельной оси шпинделя. Станки такого типа – 1Г325, 1341, 1А341 (с программным управлением).

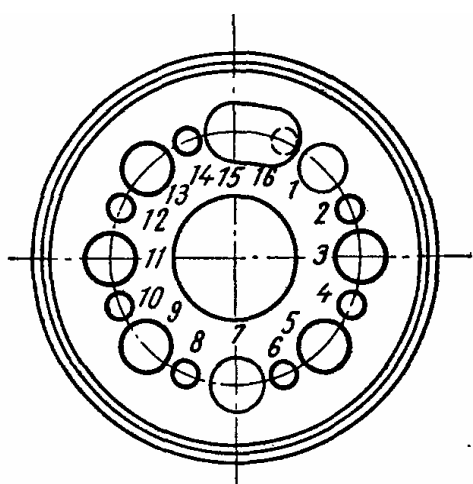


Рис. 11.1. Расположение гнезд для инструментов в револьверной головке типа *II*

Наименее распространенным является тип *III* с горизонтальной осью револьверной головки, перпендикулярной оси шпинделя.

Револьверный станок для прутковой работы выбирают в зависимости от диаметра прутка. Для патронной работы станок выбирают по максимальному диаметру детали, подлежащей обработке, и по требуемой мощности.

Револьверные головки станков типа *II* имеют по 6 и 8 больших и такое же количество малых отверстий для инструмента (рис. 11.1); такие головки могут быть налажены для работы различными режущими инструментами в количестве 16 шт.

На рис. 11.1 видно, что 15-е отверстие изготовлено продолговатым, благодаря этому оказывается возможным обрабатывать длинные детали, которые входят в это отверстие, при помощи коротких резцедержателей.

На рис. 11.2, *а* показано предварительное протачивание канавки резцом, установленным в резцедержателе *А*. Благодаря продолговатому отверстию в головке, в которое входит конец детали *С*, можно сократить длину резцедержателя *А*. Отверстие изготавливается продолговатым, потому что поперечная подача резца осуществляется вращением револьверной головки вокруг ее оси.

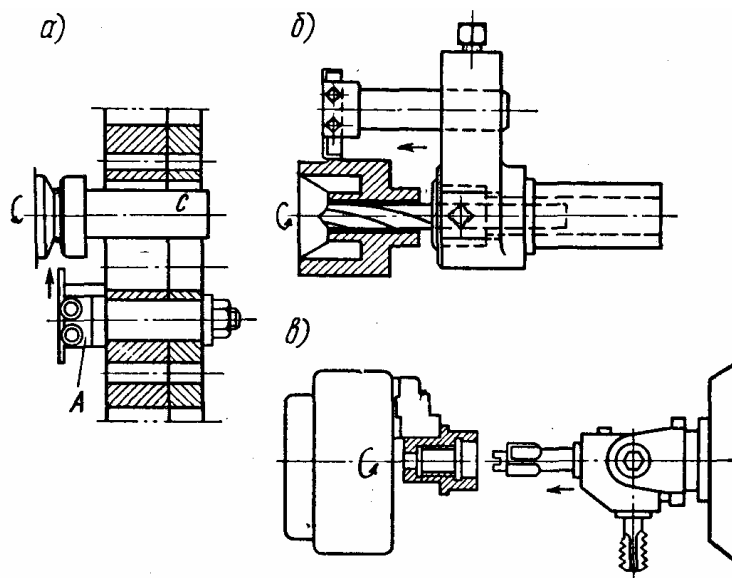


Рис. 11.2. Наладка отдельных позиций револьверных головок:
а – предварительное протачивание канавки резцом с использованием продолговатого отверстия в головке; *б* – одновременные обтачивание и сверление;
в – державка для двух инструментов

На рис. 11.2, *б* показан рациональный метод одновременного обтачивания и сверления. Если при такой наладке принято сверло из быстрорежущей стали, то, чтобы дать ему нормальную скорость, резец следует взять с твердосплавной пластинкой. Если применить резец из быстрорежущей стали, то сверло будет иметь весьма малую скорость и производительность станка понизится. Данный метод рекомендуется применять, если длина отверстия меньше 3 – 4 диаметров сверла, в противном случае сверло приходится выдвигать для очистки от стружки, и при этом резец будет оставлять риску.

Встречаются детали, при обработке которых в револьверной головке не хватает гнезд для установки инструмента; тогда применяют державку (рис. 11.2, *в*), в которой закрепляются два инструмента. Если на револьверной головке не хватает отверстий для требуемого количества инструментов, то можно применять дополнительную револьверную головку, изображенную на рис. 11.3, *а* или *б*, вставляемую при помощи стержня *А* в одно из отверстий основной револьверной головки станка.

Такие же головки можно применять и на токарных и вертикально-сверлильных станках (рис. 11.3, *в*). На токарном станке головку можно устанавливать в отверстиях задней бабки, но удобнее – в резцедержателе станка, для чего на стержне следует профрезеровать лыски, которые дадут возможность закреплять головку подобно обыкновенному резцу. На вертикально-сверлильном станке револьверная головка устанавливается в отверстиях шпинделя.

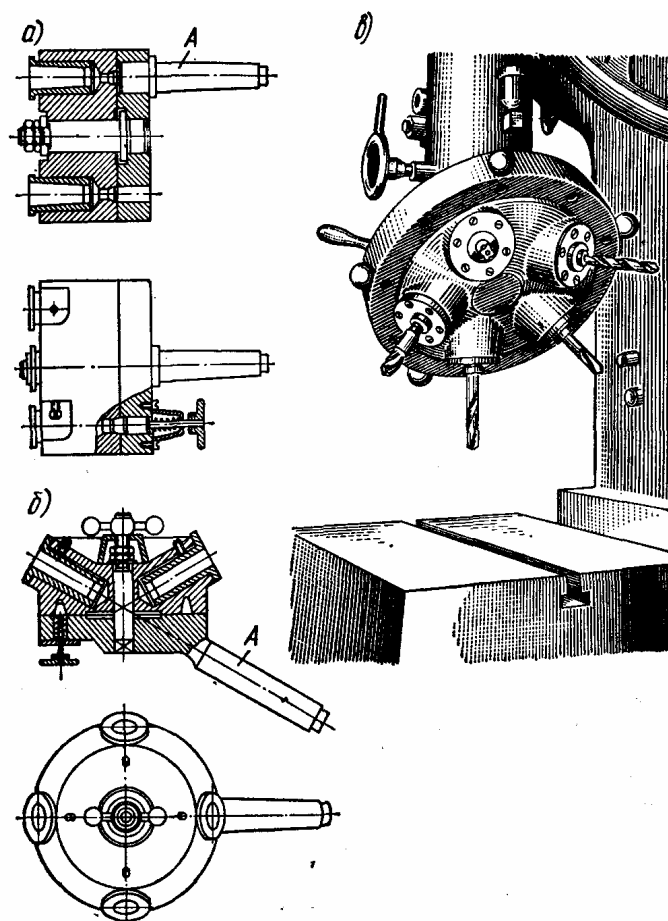


Рис. 11.3. Дополнительные револьверные головки:
а и *б* – к револьверным станкам; *в* – к сверлильным станкам

На рис. 11.4 показана четырехшпиндельная сверлильная головка, устанавливаемая в револьверной головке 5. Деталь 1 закрепляется в патроне, не показанном на чертеже. Рядом с патроном расположены две направляющие втулки 2, в которые вдвигаются два штыря 3, соединенных со шпинделем головки, помещенным в корпусе 6 головки.

Когда штыри 3 вставлены во втулки 2, вращательное движение патрона передается шпинделю головки и далее четырьмя шпинделям 4, в отверстия которых вставлены сверла 7. При этом время на сверлильную обработку значительно сокращается.

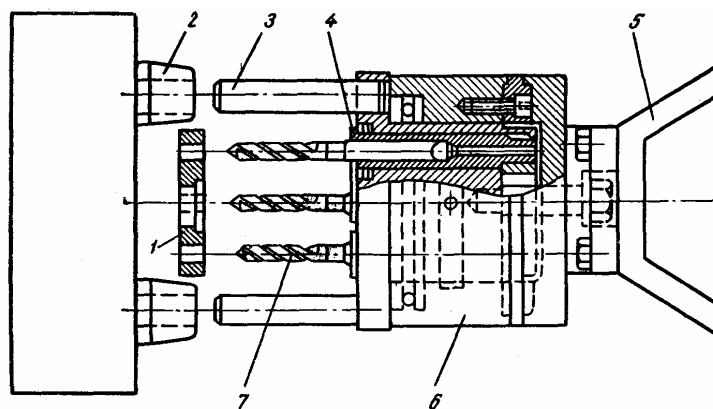


Рис. 11.4. Четырехшпindelная сверлильная головка, устанавливаемая в револьверной головке

Револьверные головки не имеют поперечной подачи, поэтому на этих станках для протачивания внутренней канавки или для подрезки внутреннего торца пользуются подвижным суппортом, посредством которого осуществляют ручную поперечную подачу (рис. 11.5).

На рис. 11.6 показана наладка револьверного станка для обработки болта из шестигранного прутка: *I* – переход – выдвигание прутка до упора; *II* – обтачивание прутка; *III* – обтачивание конца болта под резьбу и снятие фаски у головки болта с поперечного суппорта; *IV* – подрезание конца болта и снятие фаски; *V* – нарезание резьбы; *VI* – отрезание болта с заднего суппорта. Цифры 1, 2, 3 – номера обрабатываемых поверхностей.

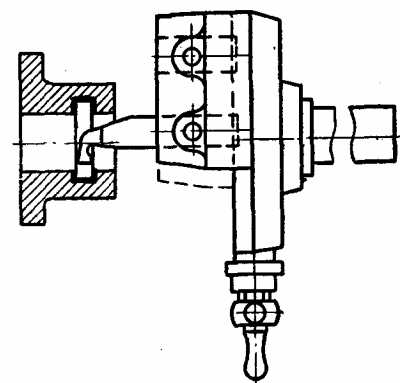


Рис. 11.5. Подвижной суппорт для протачивания внутренней канавки с ручной подачей

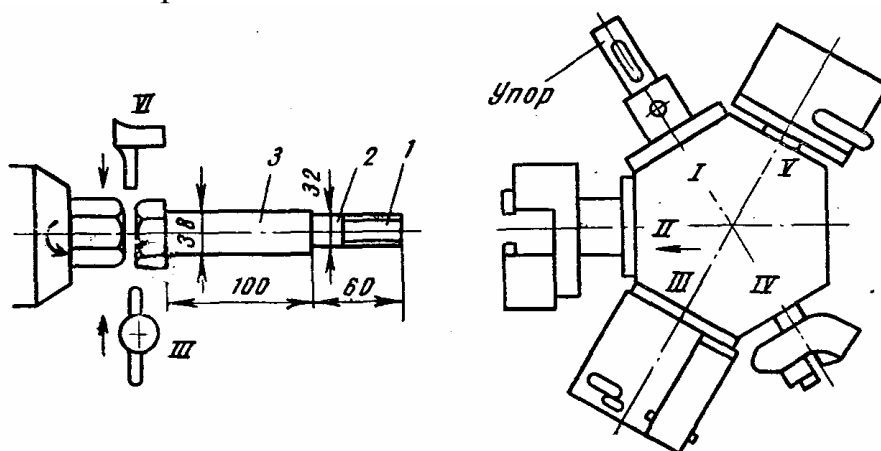


Рис. 11.6. Наладка головки револьверного станка типа *I* для обработки болта из шестигранного прутка

У некоторых типов револьверных станков упор можно ставить в гнезде, располагаемом на углу граней шестигранной головки.

На рис. 11.7 изображена развертка револьверной головки с установленными инструментами для обработки станке типа II детали из прутка с внутренней и наружной резьбой.

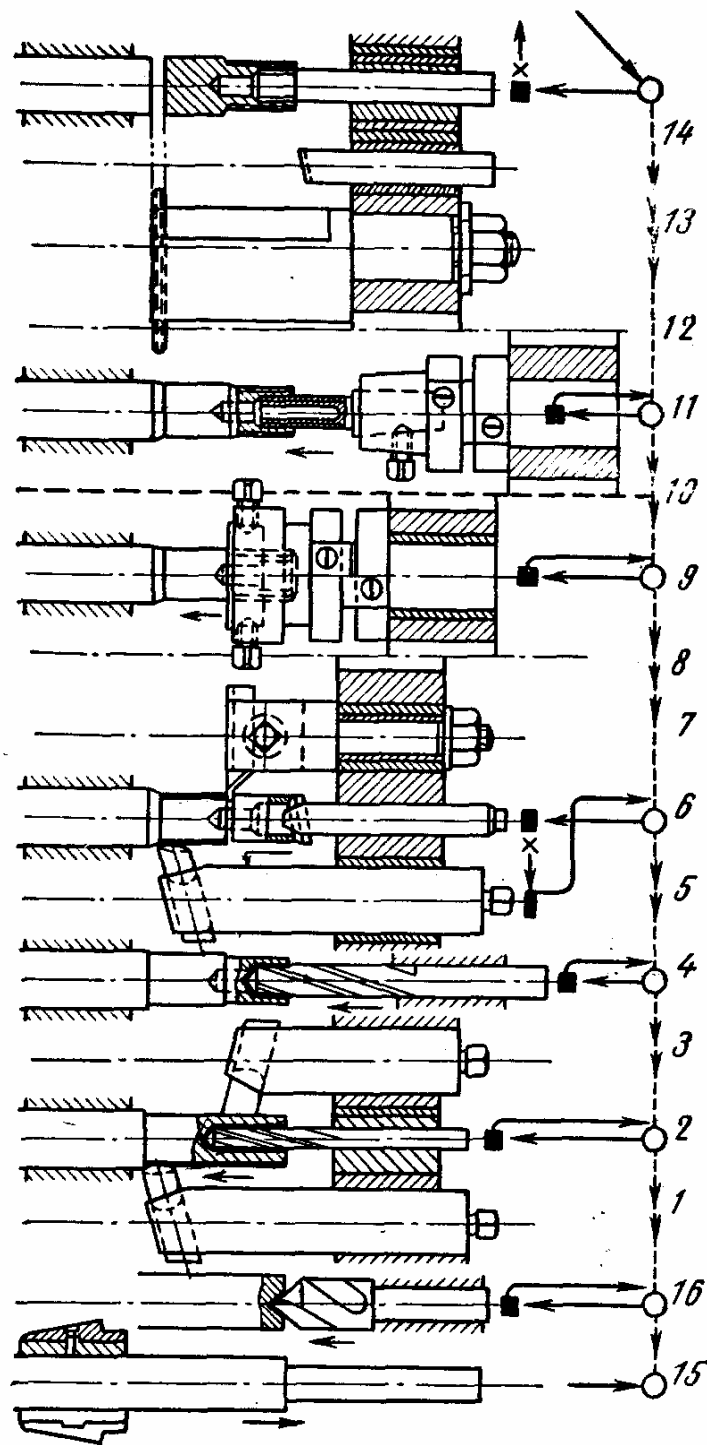


Рис. 11.7. Наладка револьверной головки станка типа II

11.2. Технологические процессы комплексной обработки поверхностей деталей на токарных полуавтоматах

Токарные полуавтоматы изготавливаются одно- и многошпиндельные, для работы в центрах и в патроне, горизонтальные и вертикальные. Одношпиндельные полуавтоматы обычно бывают многорезцовыми. Для работы в патроне они изготавливаются с двумя – четырьмя суппортами, а также с револьверными головками.

Токарные одношпиндельные полуавтоматы отличаются от токарных многорезцовых станков тем, что у них автоматизированы движения всех суппортов, ручные действия на таких полуавтоматах сводятся лишь к установке и снятию обрабатываемой детали и пуску в ход суппортов. Благодаря сокращению вспомогательного времени на подвод и отвод суппортов к детали и на другие приемы работы, применению наиболее рациональных способов обработки, меньшему влиянию квалификации рабочего, а также вследствие возможности работы одного рабочего на нескольких полуавтоматах производительность их значительно выше многорезцовых токарных станков. Некоторые многорезцовые одношпиндельные полуавтоматы имеют по три суппорта – один передний и два задних. Каждый из них имеет продольную и поперечную подачи, что представляет большое удобство, особенно для переднего суппорта, так как резцы врезаются с поперечной механической подачей, после чего автоматически осуществляется продольная подача. Нижеприведенные примеры комплексной обработки поверхностей деталей на горизонтальных многорезцовых одношпиндельных полуавтоматах показывают, что обработка на них принципиально ничем не отличается от обработки на многорезцовых токарных станках.

На рис. 11.8 – 11.10 показаны примеры технологических наладок для обработки деталей в центрах на горизонтальных многорезцовых полуавтоматах.

На рис. 11.8, *а* изображена технологическая наладка для обработки одновременно двух зубчатых колес на одной оправке в центрах.

На рис. 11.8, *б* показано обтачивание и подрезание зубчатого колеса с фланцем, центрируемого на двух центровых пробках 1 и вращающегося при помощи двух штифтов 2, укрепленных в поводковой планшайбе.

На рис. 11.9 показана технологическая наладка для обтачивания и подрезания поворотного кулака с применением специального поводкового патрона для вращения детали.

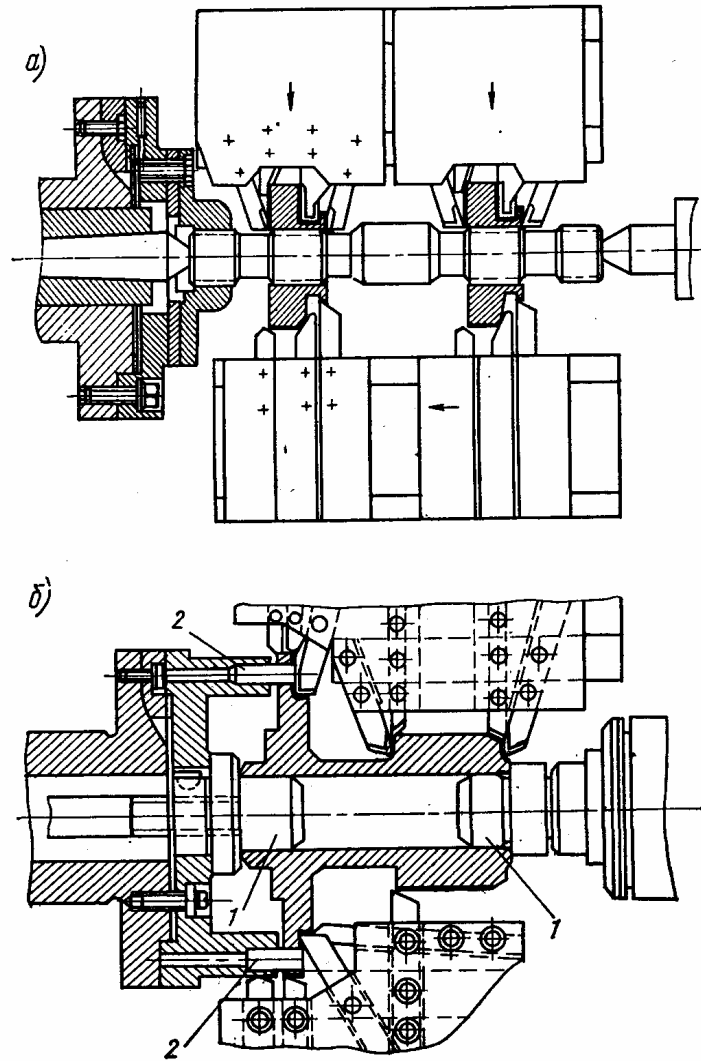


Рис. 11.8. Наладка многолезцового полуавтомата для обработки:
a – одновременно двух зубчатых колес; *б* – зубчатого колеса с фланцем

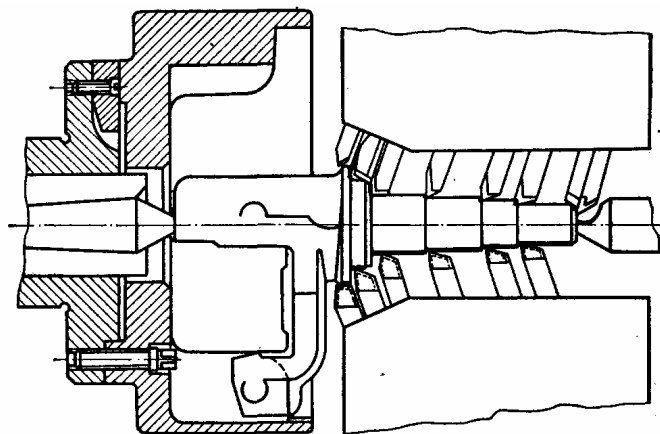


Рис. 11.9. Наладка для обработки поворотного кулака

Пример технологической наладки для обработки деталей на горизонтальном многорезцовом патронном полуавтомате показан на рис. 11.10. Этот рисунок изображает наладку для обработки крышки корпуса дифференциала автомобиля. Резец 3 в специальной оправке растачивает отверстие с переднего продольного суппорта, в то время как резец 4 снимает фаску, а резец 5 подрезает уступ. Резцы 1 и 2, установленные на заднем поперечном суппорте, подрезают оба торца.

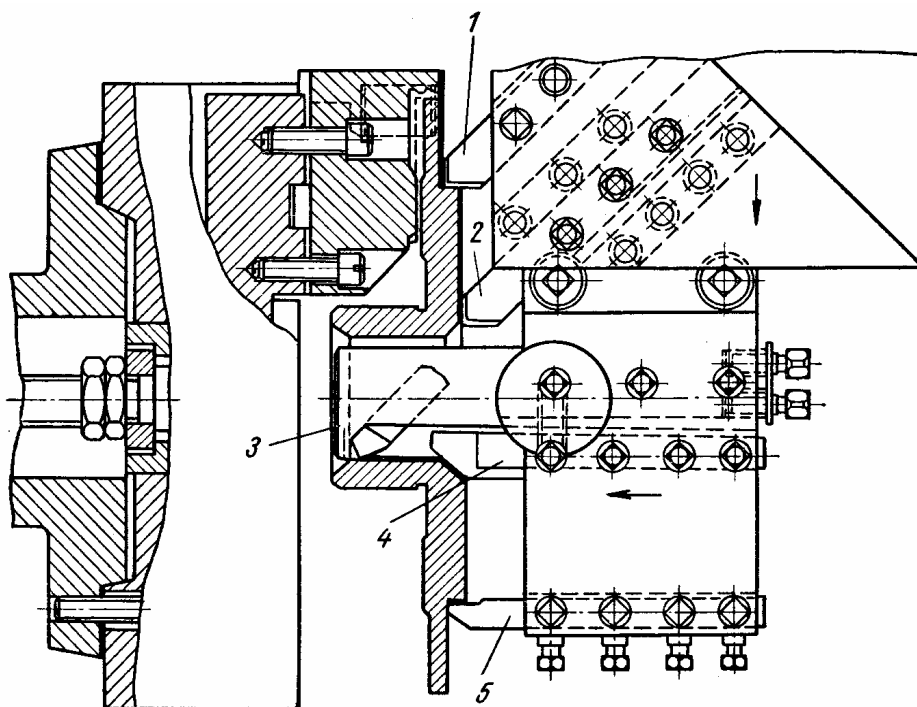


Рис. 11.10. Наладка многорезцового полуавтомата для обработки крышки корпуса дифференциала автомобиля

Горизонтальные многошпиндельные полуавтоматы выполняются четырех-, шести- и восьмишпиндельными и в некоторых случаях во многом схожи по конструкции с многошпиндельными прутковыми автоматами. Но существуют также многошпиндельные полуавтоматы, предназначенные специально для патронной работы. У всех патронных многошпиндельных полуавтоматов обычно один шпиндель, преимущественно передний верхний, автоматически останавливается для смены детали. Отечественные четырехшпиндельные (модель 1290П), шестишпиндельные (модель 1265П) и восьмишпиндельные (модель 1265-8П) горизонтальные патронные полуавтоматы предназначены для обработки литых и штампованных заготовок с

диаметром 65 – 200 мм – (модель 1265П) и 100 – 250 мм (модель 1290П); на них выполняют операции точения, сверления, зенкерования, развертывания, растачивания и нарезания резьб.

Помимо горизонтальных многошпиндельных полуавтоматов, как было отмечено, изготавливаются вертикальные многошпиндельные полуавтоматы (с четырьмя, шестью, восемью и шестнадцатью шпинделями), которые получили широкое применение в крупносерийном и массовом производстве, особенно в автомобиле- и тракторостроении.

Вертикальные полуавтоматы с шестью (модель 1282) и восемью (модель 1283) шпинделями изготавливаются для обработки деталей диаметром до 320; модель 1284 – до 400; модель 1285 – до 500; модель 1288 – до 630 мм.

Шестишпиндельный вертикальный полуавтомат имеет круглый стол с шестью патронами. На вертикальной шестигранной колонне имеются пять рабочих позиций с суппортами и одна позиция без суппорта для снятия и закрепления обрабатываемой детали. Одновременно обрабатываются пять деталей. В это же время шестая деталь устанавливается и закрепляется в патроне после того, как снята обработанная деталь. Таким образом, за поворот стола на одну позицию снимается одна обработанная деталь, а за полный поворот стола по всем позициям – соответственно шесть деталей.

На восьмишпиндельном полуавтомате за один полный оборот стола обрабатываются восемь деталей.

На рис. 11.11, *а* показана обработка ступицы заднего колеса автомобиля на шестишпиндельном вертикальном полуавтомате (модель 1282). Обработка заготовки зубчатого колеса (без операции зубонарезания) на таком же полуавтомате изображена на рис. 11.11, *б*.

Вертикальные многошпиндельные полуавтоматы производятся также для непрерывного процесса обработки. У таких станков стол с деталями, закрепленными в патронах или в центрах, не останавливается при смене позиции, а непрерывно вращается с одновременным вращением колонны с суппортами.

Снятие обработанной детали, установка и закрепление новой детали происходят при вращении стола и колонны. Суппорты могут быть налажены для одной и для двух различных операций обработки как одной, так и двух деталей (модель 1272 – шестишпиндельный – для деталей диаметром до 250 мм).

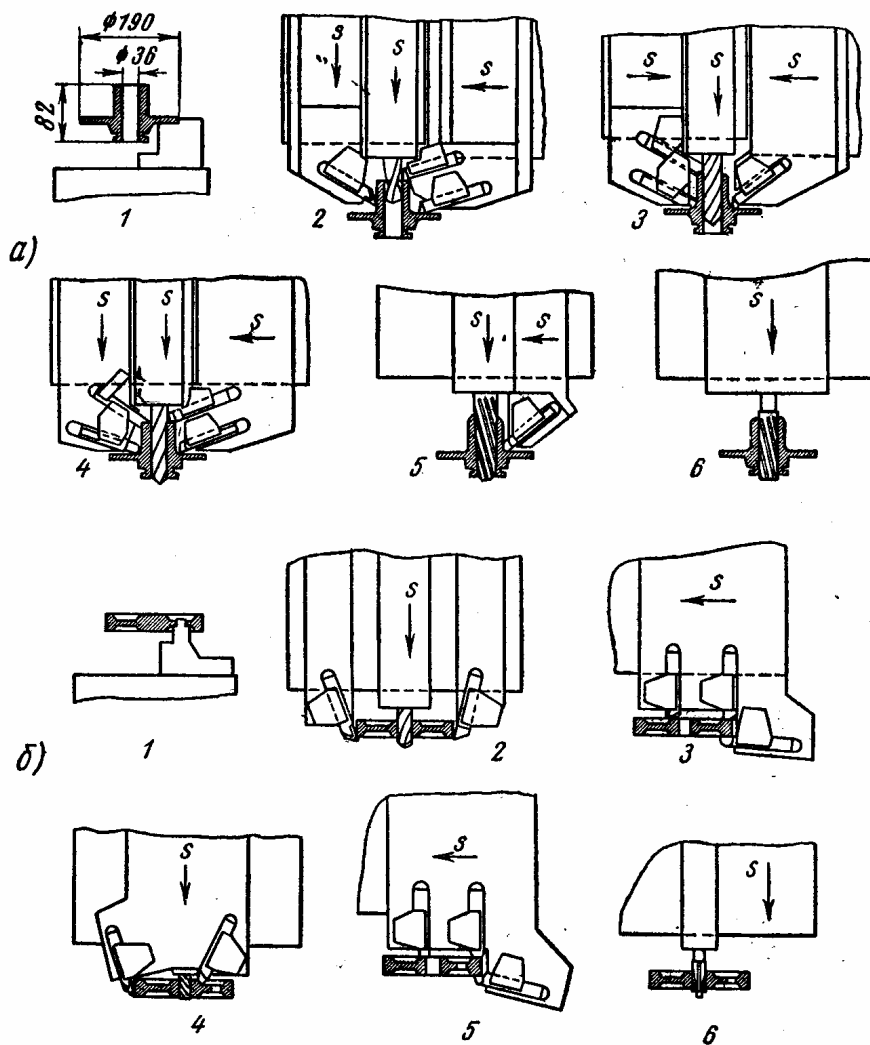


Рис. 11.11. Примеры наладок шестишпindelного вертикального полуавтомата для обработки: *а* – ступицы заднего колеса автомобиля; *б* – зубчатого колеса; 1 – 6 – номера переходов

11.3. Технологические процессы комплексной обработки поверхностей деталей на токарных автоматах

Токарные автоматы применяются в крупносерийном и массовом производстве для комплексной обработки наружных и внутренних цилиндрических и резьбовых поверхностей, главным образом при изготовлении деталей из пруткового материала, где благодаря значительным размерам запускаемых в производство партий деталей автоматы могут быть загружены без переналадки в течение нескольких дней. В случае недостаточной загрузки и необходимости в частой переналадке целесообразнее применять револьверные станки. В каждом отдельном случае для более правильного с

экономической точки зрения решения вопроса, на каких станках – автоматах, полуавтоматах или револьверных – целесообразно вести обработку, необходимо разработать сравнительные варианты технологических процессов обработки детали на том или другом станке и сопоставить полученные технико-экономические показатели.

Технологические возможности автоматов и характер технологических процессов механической обработки на них разнообразны вследствие большого количества типов автоматов.

Автоматы бывают одношпиндельные и многошпиндельные. Одношпиндельные автоматы делятся на фасонно-отрезные, фасонно-токарные (с продольным точением) и токарно-револьверные.

Фасонно-отрезные автоматы имеют два, три и более (до пяти) радиально расположенных суппортов, имеющих только поперечную подачу, с фасонными и отрезными резцами и, кроме того, шпиндель, расположенный по оси прутка для такого инструмента, как сверло, зенковка, метчик и т. п. Шпиндель кроме вращательного движения имеет также осевое поступательное движение.

Фасонно-отрезные автоматы служат для обработки мелких коротких деталей. На них производят обтачивание, сверление отверстия вдоль оси детали, нарезание резьбы и отрезание детали от прутка после окончания ее обработки.

На рис. 11.12, *а* показана обработка фасонной и конической поверхностей фасонными резцами, а на рис. 11.12, *б* – обработка шарового пальца на фасонно-отрезных автоматах. Обтачивание пальца производится круглыми (дисковыми) фасонными резцами с поперечной подачей – передним *1* и задним *2*; резьба нарезается плашкой *3*. Цифры *I*, *II*, и *III* – номера переходов.

На *фасонно-токарных* автоматах с продольным точением (рис. 11.12, *в*) обрабатываются мелкие длинные детали простой формы. Продольная подача осуществляется благодаря осевому перемещению прутка при передвижении всей передней бабки или специальной трубы внутри передней бабки.

На фасонно-отрезных и фасонно-токарных (с продольным точением) автоматах обрабатываются прутки диаметром от 2 до 20 мм. При изготовлении на них винтов со шлицами на головках для фрезерования шлицев используют специальное приспособление, которое дает возможность получить на одном станке вполне законченный винт без специальной операции фрезерования шлица.

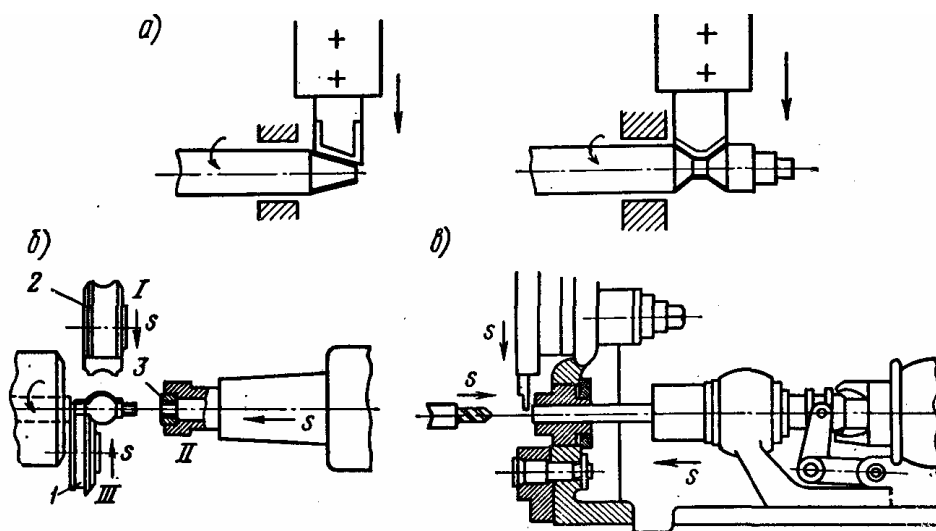


Рис. 11.12. Примеры наладок фасонно-токарных автоматов для обработки:
а – конической и фасонной поверхностей; *б* – шарового пальца; *в* – длинной детали простой формы

Пример обработки винта со шлицем на головке с применением специального приспособления приведен на рис. 11.13.

Наименования переходов:

1 – открыть патрон; *2* – отвести назад переднюю бабку; *3* – закрыть патрон; *4* – отвести отрезной резец *1* в начальное положение; *5* – подвести передний резец *2* в рабочее положение; *6* – проточить по наружному диаметру; *7* – пауза; *8* – отвести передний резец; *9* – переместить переднюю бабку для образования головки; *10* – подвести отрезной резец *1*; *11* – нарезать резьбу посредством резьбового патрона *3*; *12* – поворот захвата *4*; *13* – подача захвата вперед; *14* – отрезать деталь; *15* – отвод захвата с деталью; *16* – поворот захвата вверх; *17* – прорезка шлица детали шлицевой фрезой *5*; *18* – выталкивание готовой детали с помощью выталкивателя *б*.

Одношпиндельные токарные автоматы продольного точения повышенной точности изготавливаются для наибольшего диаметра обрабатываемого прутка 7 мм (тип 1А10П) и 12 мм (тип 1П12), каждый с пятью суппортами.

Токарно-револьверные одношпиндельные автоматы, предназначенные для изготовления деталей из пруткового материала, имеют три поперечных суппорта (передний, задний и верхний) и револьверную головку с горизонтальной осью, расположенной перпендикулярно оси шпинделя. В револьверной головке имеются шесть гнезд для установки и закрепления в них державок и оправок с режущими инструментами. Наличие, кроме трех поперечных суппортов, револьверной головки позволяет обрабатывать детали более сложной формы, чем на фасонно-отрезных автоматах.

Подача и зажатие пруткового материала производится автоматически после отрезания готовой детали. Автоматическое движение револьверной головки и суппортов достигается при помощи специальных кулачков, устанавливаемых на распределительном валу автомата. За один оборот

распределительного вала изготавливается, как правило, одна деталь.

В отдельных случаях, при использовании небольшого количества инструментов, можно за один оборот распределительного вала обработать две детали – последовательно одну за другой. Так как за один оборот распределительного вала заканчивается периодический цикл работы автомата, то за этот период может быть обработано целое число деталей. Время одного оборота распределительного вала, а следовательно, и продолжительность изготовления детали могут быть установлены набором шестерен, при помощи которых распределительный вал приводится во вращение от шпинделя автомата.

Работа на токарно-револьверных автоматах в принципе аналогична работе на обычных револьверных станках. При проектировании технологического процесса обработки детали необходимо для выполнения отдельных переходов равномерно распределить работу между инструментами, закрепленными в револьверной головке и суппортах.

На рис. 11.14 показан специальный винт и его обработка на токарно-револьверном автомате.

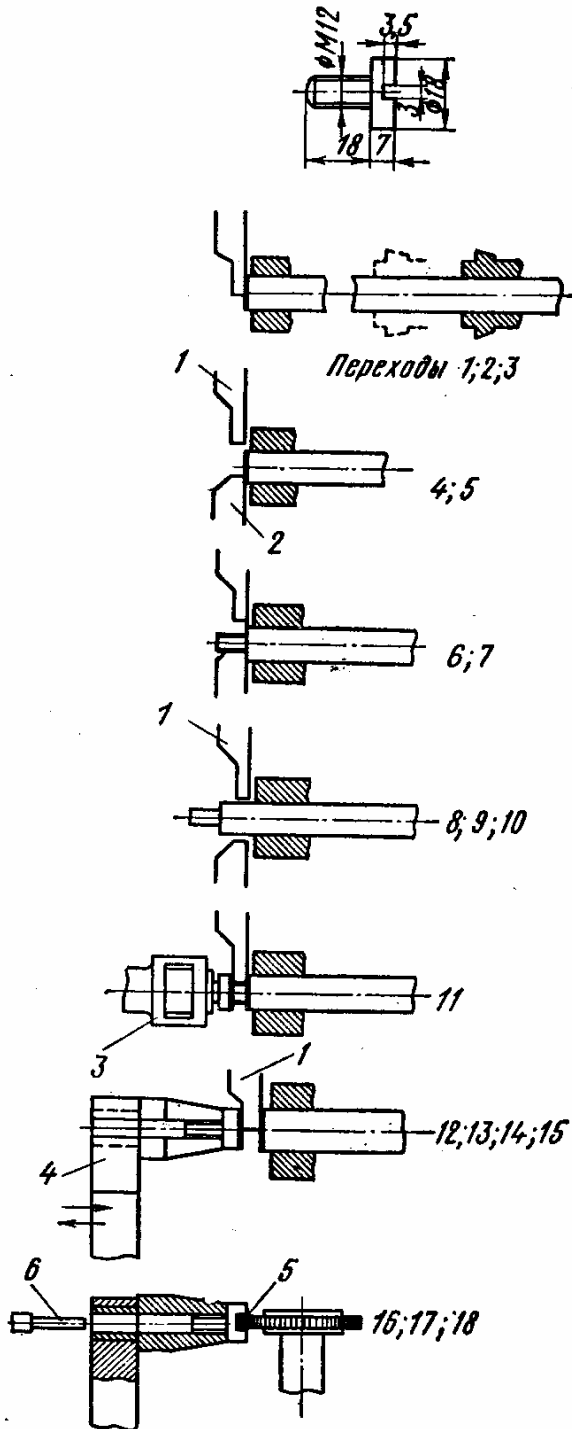


Рис. 11.13. Схемы наладки автомата продольного точения для обработки винта диаметром М 12

Токарно-револьверные одношпиндельные автоматы отечественного производства служат для обработки пруткового материала круглого и квадратного сечения; для наибольшего диаметра прутка круглого сечения 12 мм предназначен автомат модели 1Д112, для наибольшего диаметра прутка 18 мм – автомат модели 1Д118, для 25 мм – автомат модели 1Б125, для 40 мм – автомат модели 1Б140. Эти же автоматы с магазинным устройством применяются для обработки штучных заготовок.

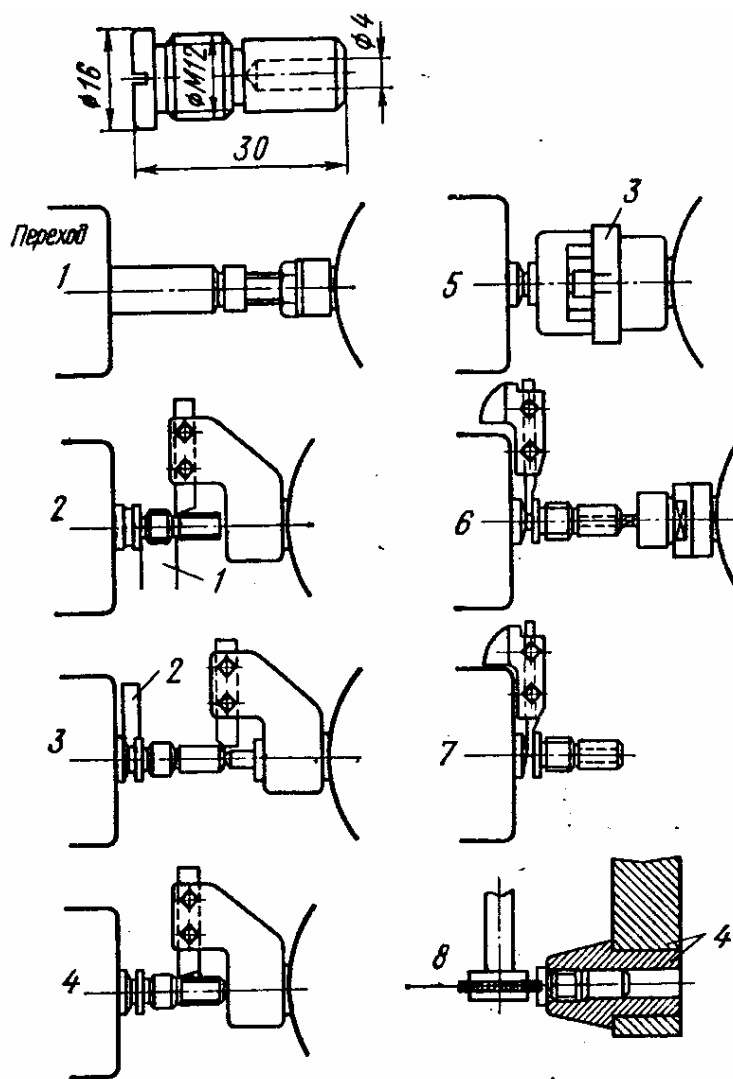


Рис. 11.14. Схема наладки токарно-револьверного автомата для обработки винта диаметром М12. Наименования переходов: 1 – подача до упора, 2 – подрезка головки и обтачивание ступени стержня под резьбу фасонным резцом 1, 3 – протачивание закругления головки резцом 2 с поперечного суппорта и снятие фаски и зацентровка с револьверной головки, 4 – чистовое обтачивание стержня с револьверной головки, 5 – нарезание резьбы посредством резьбонарезного патрона 3, 6 – начало отрезки детали с поперечного суппорта и сверление отверстия с револьверной головки, 7 – окончание отрезки детали, 8 – фрезерование шлица в специальном приспособлении-захвате 4

Многошпиндельные автоматы бывают чаще всего четырех- и шестিশпиндельные и значительно реже пяти- и восьмишпиндельные, они изготавливаются большей частью для прутков диаметром от 20 до 100 мм. Шпиндели для закрепления обрабатываемых прутков размещаются в барабанах, которые периодически поворачиваются из позиции в позицию. В одной из позиций обработанная деталь отрезается от прутка, и пруток выдвигается до упора для дальнейшей обработки.

Наружные поверхности деталей обрабатываются на многошпиндельных автоматах режущими инструментами, установленными на продольных и поперечных суппортах. Число поперечных суппортов обычно равно числу шпинделей. Кроме главных шпинделей, для закрепления обрабатываемых прутков автоматы имеют два или три инструментальных шпинделя, которые вращаются и перемещаются вдоль своей оси. Оси инструментальных шпинделей совпадают с осями главных шпинделей. Инструментальные шпиндели служат обычно для закрепления в них инструментов для обработки отверстий – сверл, метчиков, резьбонарезных само-раскрывающихся головок, резцов для наружного обтачивания.

Многошпиндельные автоматы более производительны, чем одношпиндельные, но точность обработки на них меньше, чем на одношпиндельных. Зазоры в поворотном барабане, в котором размещаются шпиндели, а также в делительном механизме создают дополнительные погрешности при обработке. Одношпиндельные автоматы обеспечивают точность обработки на концентричность до 0,02 мм, а для деталей малых диаметров – даже до 0,01 мм, в то время как на многошпиндельных автоматах достигается точность до 0,04 – 0,05 мм.

Обработка деталей на многошпиндельном автомате распределяется между отдельными шпинделями, и для достижения максимальной производительности необходимо равномерно распределять работу между ними, стремясь к сокращению пути прохода отдельных инструментов.

В качестве нормальной схемы распределения работ по шпинделям на четырехшпиндельном автомате может быть принята следующая схема.

На первом шпинделе деталь, как правило, обтачивается предварительно либо с продольного суппорта проходными резцами, либо с поперечного суппорта фасонным, круглым и другими резцами. Одновременно целесообразно при наличии отверстия в детали производить сверление или зацентровку для отверстия (при длине его больше двух диаметров).

На втором шпинделе обычно производится окончание предварительного обтачивания, а иногда и чистовое обтачивание.

На третьем шпинделе выполняется чистовое обтачивание, если оно предусматривается техническими условиями на деталь, и если оно не было выполнено на втором шпинделе, а также и нарезание резьбы при помощи специального резьбонарезного устройства.

На четвертом шпинделе обычно производится отрезание детали. Упомянутое специальное резьбонарезное устройство позволяет дать метчику вращение в том же направлении, в каком вращается и деталь, но с большим числом оборотов в минуту, чем у детали, что позволяет метчику как бы ввертываться в деталь. После того как метчик нарезал резьбу, число оборотов у него становится меньше, чем у детали, благодаря чему он вывертывается.

Это резьбонарезное устройство необходимо потому, что в отличие от одношпиндельных автоматов, где шпиндель имеет обратное вращение, необходимое для вывертывания метчика, в многошпиндельных автоматах такого переключения вращения шпинделей не имеется, а ввертывание и вывертывание метчика происходит за счет ускорения и замедления его вращения.

Ввиду того, что нарезание резьбы, а также и развертывание отверстий происходят при меньшем числе оборотов, чем сверление и обтачивание, третий шпиндель у четырехшпиндельных автоматов и четвертый или пятый шпиндель у шестишпиндельных автоматов имеют (или могут иметь) пониженное число оборотов. Также и подача инструментов у одного шпинделя может изменяться по сравнению с подачей всей головки в целом. Подачу инструмента осуществляет самостоятельный кулачок.

На рис. 11.15 изображена деталь (корпус свечи автомобиля).

На рис. 11.16, *а* – процесс ее обработки на четырехшпиндельном автомате, а на рис. 11.16, *б* – процесс обработки этой же детали на шестишпиндельном автомате. Стрелки указывают направление подачи.

На четырехшпиндельном автомате (рис. 11.16, *а*) обработка детали происходит следующим образом.

На первом шпинделе производится сверление отверстия ступенчатым сверлом 1 на длине 33 мм с продольного суппорта с одновременным обтачиванием с того же суппорта переднего уступа и обтачивание фасонным резцом 2 – с поперечного суппорта.

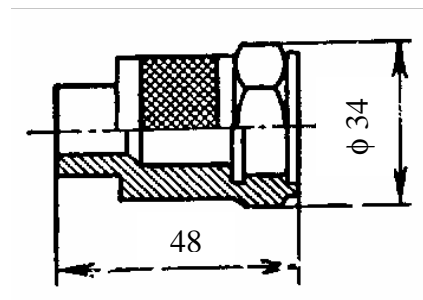


Рис. 11.15. Деталь-корпус свечи двигателя, обрабатываемой на автомате

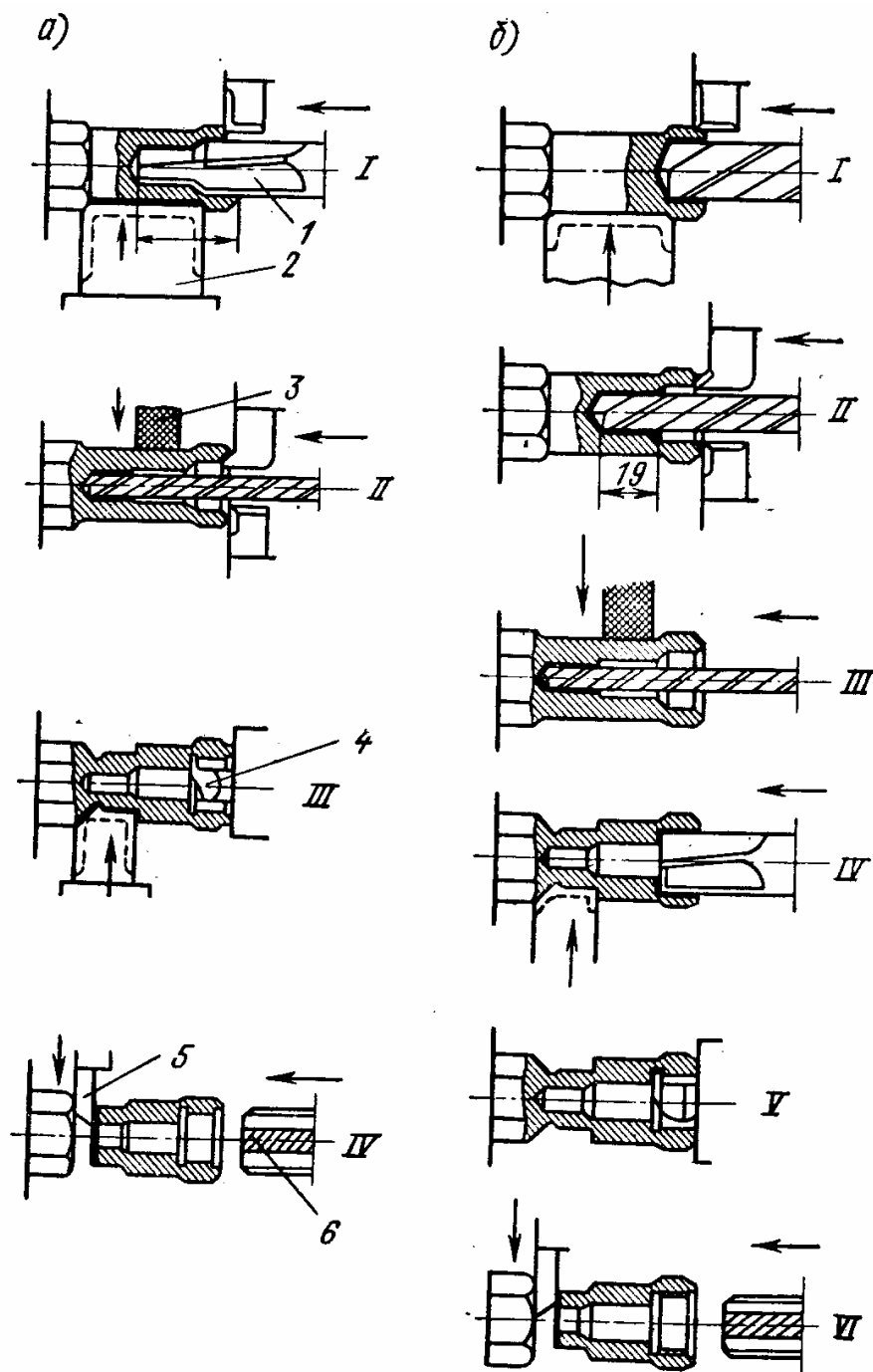


Рис. 11.16. Наладка четырех- и шестишпиндельного автомата для обработки корпуса свечи двигателя: *а* – наладка для четырех шпинделей; *б* – наладка для шести шпинделей; *I-IV* и *I-VI* – номера шпинделей. Стрелки указывают направление подачи

На втором шпинделе – сверление малого отверстия, снятие фаски, подрезание торца и накатывание рифления накатником 3.

На третьем шпинделе – окончательное обтачивание фасонным резцом с поперечного суппорта и растачивание канавки для выхода метчика канавочным резцом 4 – с продольного суппорта.

На четвертом шпинделе – нарезание внутренней резьбы метчиком 6 и отрезание резцом 5.

На шестишпиндельном автомате (рис. 11.16, б) процесс обработки той же детали следующий.

На первом шпинделе производится сверление под резьбу, протачивание переднего уступа и фасонное обтачивание – с поперечного суппорта.

На втором шпинделе – сверление малого отверстия на длине 19 мм, снятие фаски и подрезание торца.

На третьем шпинделе – сверление и накатывание.

На четвертом шпинделе – окончательное обтачивание фасонным резцом с поперечного суппорта и растачивание под резьбу.

На пятом шпинделе – растачивание канавки.

На шестом шпинделе – нарезание внутренней резьбы и отрезание.

Сравнивая оба процесса обработки, можно видеть, что наиболее длительный переход занимает значительно больше времени в первом случае, чем во втором. В первом процессе обработки сверление производится ступенчатым сверлом на длину 33 мм, а во втором – на длину 19 мм. Кроме того, применение ступенчатого сверла удорожает инструмент и снижает режимы резания.

Станкостроительные заводы выпускают горизонтальные четырехшпиндельные фасонно-отрезные автоматы модели 1240-0 для обработки прутков диаметром до 40 мм с двумя общими поперечными суппортами, горизонтальные токарные четырехшпиндельные (четырёхпозиционные) моделей 1240-4, 1265М4 и 1А290-4 для обработки прутков или труб диаметром соответственно до 40, 65, 100 мм, которые имеют по четыре поперечных суппорта и по одному продольному суппорту.

Шестишпиндельные автоматы моделей 1240-6, 1265, 1265М6 и 1А290-6 предназначены для обработки прутков диаметром соответственно до 40, 65 и 100 мм, они имеют по шести поперечных суппортов и по одному продольному суппорту.

Кроме указанных выпускаются восьмишпиндельные автоматы моделей 1А240-8, 1265М8 и 1А290-8 и с двойным индексированием, предназначенные для обработки прутков диаметром до 40, 65 и 100 мм [2, 3].

12. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛА ДАВЛЕНИЕМ В ХОЛОДНОМ СОСТОЯНИИ

В современном машиностроении наряду с обработкой металлов резанием, сопровождающимся снятием стружки, применяют ряд особых методов обработки без снятия стружки. Применение этих методов повышает производительность и точность обработки, чистоту и прочностные свойства поверхностей.

К способам обработки металла давлением относятся:

- 1) калибрование отверстий шариком и оправкой;
- 2) редуцирование;
- 3) обработка поверхностей гладкими роликами;
- 4) накатывание рифлений;
- 5) накатывание зубчатых колес;
- 6) наклепывание поверхностей шариками;
- 7) дробеструйный наклеп.

Калибрование шариком и оправкой. Калиброванию подвергают гладкие цилиндрические отверстия, а также отверстия с фасонным поперечным сечением. Короткие отверстия калибруют на прессах, проталкивая гладкую оправку или шарик через обрабатываемое отверстие с натягом.

При калибровании возникает пластическая деформация металла, в результате которой незначительно увеличивается диаметр обрабатываемого отверстия, а также повышается чистота и твердость поверхности.

Длинные отверстия калибруют протягиванием калибрующей оправки через обрабатываемое отверстие на протяжном станке.

Если обрабатываемой заготовке или калибрующей оправке придать дополнительное вращательное движение, то можно калибровать участки отверстия, расположенные по винтовой линии.

Несквозные отверстия калибруют оправкой, которая совершает возвратно-поступательное движение. На рис. 12.1 приведены схемы калибрования отверстий.

Калибрование повышает точность обработки на 30 – 35 %, а также исправляет погрешности формы. Точность обработки может быть также повышена за счет двух- или трехкратного калибрования с распределением натяга между каждым переходом.

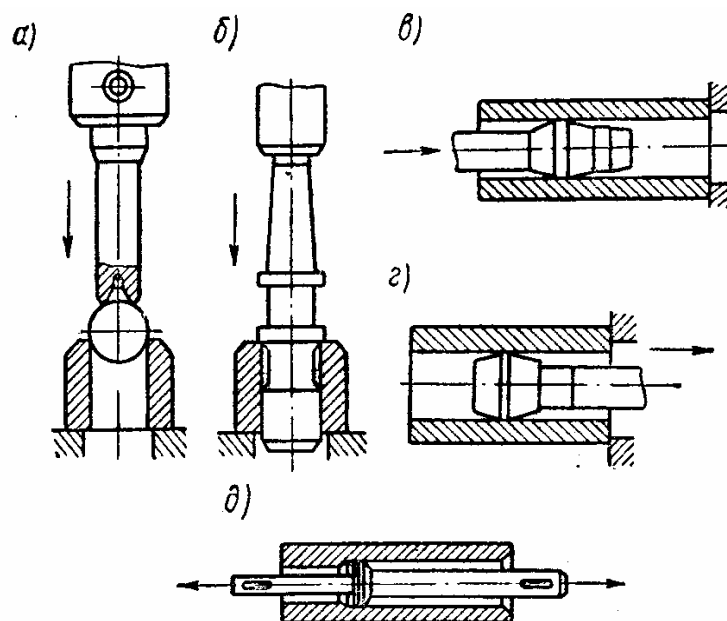


Рис. 12.1. Схема калибровки отверстий: *a* – проталкиванием шарика; *б* и *в* – проталкиванием оправки; *г* – протягиванием оправки; *д* – протягиванием оправки с возвратно-поступательным движением

Чистота калибровки во многом зависит от качества калибруемой поверхности, так как этот вид обработки связан с пластической деформацией поверхностных неровностей, а не с их удалением. Поэтому чтобы достигнуть хороших результатов, отверстие под калибровку следует обрабатывать растачиванием или развертыванием. В этом случае отверстия могут быть доведены калибровкой до 2-го и даже 1-го класса точности.

Применяемые для калибровки стальные шарики обладают тем преимуществом перед оправками, что срок их использования более продолжителен, так как они имеют практически бесконечное число калибрующих поясков. Кроме того, смещение точки приложения проталкивающей силы не вызывает перекоса. Область применения шариков ограничивается их стандартными размерами.

Калибрующие оправки изготовляют цельными или сборными с поясками любых размеров.

Для повышения износостойкости калибрующий инструмент подвергают хромированию или азотированию; применяют также наплавку калибрующих поверхностей твердым сплавом.

Редуцирование, или формообразование, деталей методом обжатия или вытягивания заготовок является прогрессивным методом обработки, обеспечивающим по сравнению с обработкой точением и шлифованием увеличение производительности в 5 – 6 раз со значительной экономией ме-

талла и повышением механических свойств обработанного поверхностного слоя благодаря наклепу и созданию напряжений сжатия. Этот метод обеспечивает высокую точность обработки (2-й класс) с чистотой поверхности 8 – 10 класса.

Принцип редуцирования наружных поверхностей заключается в последовательном обжати заготовки. Заготовка по мере продвижения вдоль оси деформируется под действием сжимающих сил вращающихся матриц. При этом происходит течение металла заготовки в направлении ее движения до тех пор, пока заготовка не будет обжата до размера, соответствующего наименьшему диаметру желоба матриц.

На рис. 12.2 показан процесс редуцирования цилиндрического прутка.

Шпиндель 5 редуцирной головки, вращающийся с определенной скоростью, имеет диаметральный паз прямоугольного сечения, по которому к центру и от центра свободно перемещаются бойки с матрицами 3. Последние, соприкасаясь во время работы своими рабочими поверхностями с металлом прутка 2, придают заготовке требуемую форму, обжимая и вытягивая ее. На внешних торцах бойков установлены опорные ролики 1. Шпиндель 5 расположен внутри обоймы 4, в отверстиях которой по окружности свободно установлены ролики 6 таким образом, что их боковые поверхности частично выступают из обоймы.

При вращении шпинделя с бойками и матрицами последние под действием центробежной силы отходят от центра к периферии в тот момент, когда ролики 1 находятся в пространстве между роликами 6, и сходятся к центру, когда ролики 1 наталкиваются на ролики 6. При этом матрицы своими рабочими поверхностями приходят в соприкосновение с металлом заготовки, пластически деформируя его: заготовка обжимается и вытягивается.

Принцип редуцирования внутренних поверхностей может быть рассмотрен на примере обработки внутренней поверхности корпуса муфты стартера.

На внутренней поверхности этой детали имеется участок с эвольвентными спиральными шлицами, участок с калиброванным отверстием для посадки подшипника и участок с четырьмя профильными впадинами (рис. 12.3). Обработка этой поверхности обычными методами потребовала бы ряда протяжных операций, шлифования и полирования.

Метод обработки редуцированием состоит в том, что внутрь полой заготовки вводят оправку соответствующей формы, после чего заготовку обжимают с помощью быстро вибрирующих профильных кулачков.

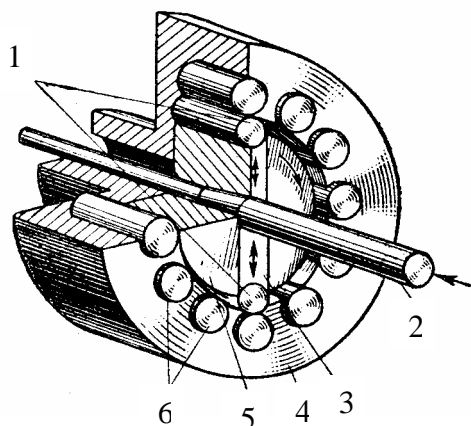


Рис. 12.2. Схема редуцирования прутка

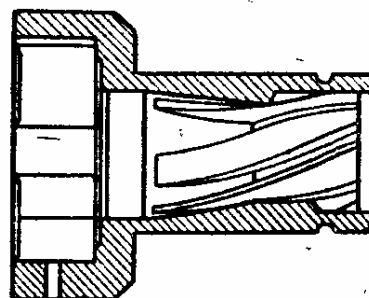


Рис. 12.3. Корпус муфты стартера

Станок для редуцирования состоит из вращающейся головки, в которой размещены четыре перемещающихся в радиальных направлениях суппорта. Суппорты снабжены криволинейными поверхностями, которыми они при вращении головки перекатываются по роликам, получая тем самым возвратно-поступательное радиальное перемещение.

Головка вращается, делая 200 оборотов в минуту. Заготовку (пруток) перед редуцированием обтачивают по наружной поверхности с подрезкой торцов.

На рис. 12.4, *a* показан общий вид и разрез составной оправки для редуцирования корпуса муфты, показанной на рис. 12.3.

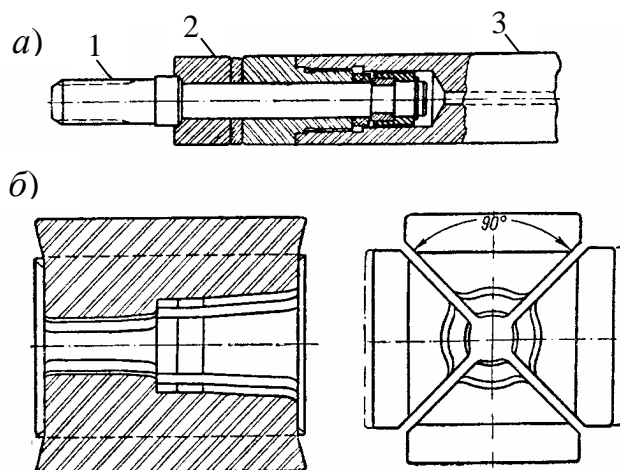


Рис. 12.4. Общий вид составной оправки и рабочих кулачков для редуцирования внутренней поверхности корпуса муфты: *a* – составная оправка; 1 – внутренняя оправка; 2 – внешняя оправка; 3 – толкатель; *б* – рабочие кулачки

Так как внутренняя поверхность обрабатываемой заготовки имеет эвольвентные спиральные шлицы, оправка состоит из двух частей, свободно вращающихся одна относительно другой, что обеспечивает возможность съема заготовки с оправки после редуцирования. Внутренняя (рабочая) оправка имеет конусность 0,1:300, а внешняя – 17,5:300.

Рабочие кулачки (рис. 12.4, б) имеют хорошо отполированную рабочую поверхность с конфигурацией, соответствующей форме обрабатываемой заготовки.

Редуцирование производят в следующем порядке. Толкатель с оправкой перемещается вперед до упора, принимая на оправку заготовку из загрузочного лотка. Оправка с заготовкой, медленно вращаясь, перемещается в рабочее положение и подается до упора. Во время формообразования внутренней поверхности кулачки, перемещаясь, увлекают заготовку с оправкой, которая вращается со скоростью, меньшей скорости вращения головки. По окончании обработки толкатель с готовой деталью отводят; деталь снимают с оправки и сбрасывают в приемный лоток.

Обработка поверхностей гладкими роликами. Сущность этого вида обработки заключается в том, что вращающиеся ролики, прижимаясь к обрабатываемой поверхности под давлением, сминают неровности и создают наклепанный слой, повышающий эксплуатационные свойства обрабатываемой поверхности.

Схемы обработки поверхностей роликами могут быть самыми различными. Выбор той или иной схемы зависит от формы поверхности, жесткости обрабатываемой заготовки и технологического назначения обработки.

При обкатывании роликами наружных цилиндрических поверхностей диаметр их уменьшается, а при раскатывании отверстий – увеличивается.

Поверхности жестких деталей обрабатывают односторонними роликовыми оправками (с одним роликом), а менее жестких – многороликовыми устройствами, которые уравнивают действующие силы давления.

На рис. 12.5 приведены различные схемы обработки поверхностей роликами. Как правило, обкатывание роликами производится после чистового точения. При обработке незакаленных поверхностей обкатывание роликами заменяет шлифование.

Обработка роликами обычно выполняется на универсальных станках. Так, например, обкатывание наружных цилиндрических поверхностей осуществляют на токарных, револьверных и карусельных станках, а раската-

тивание отверстий, кроме указанных, также на сверлильных и горизонтально-расточных станках. Плоские поверхности обкатывают на поперечно-строгальных станках. Основное условие получения заданной точности и чистоты обрабатываемой поверхности – создание соответствующего давления на ролик и применение для его изготовления износостойкого материала с высокой твердостью. Достижимая чистота поверхности при обкатывании составляет 7 – 9 классы, а точность обработки 3-й и 2-й класс.

В качестве материала для роликов рекомендуются инструментальные углеродистые стали, закаленные до твердости HRC 58-65, и легированные стали марок ХВГ, 5ХНМ и др.

Ролик обычно закрепляют в резцедержателе станка или в оправке шпинделя станка и приводят во вращение. Благодаря силе трения, возникающей между роликом и обрабатываемой заготовкой, поверхность заготовки обкатывается до требуемого качества.

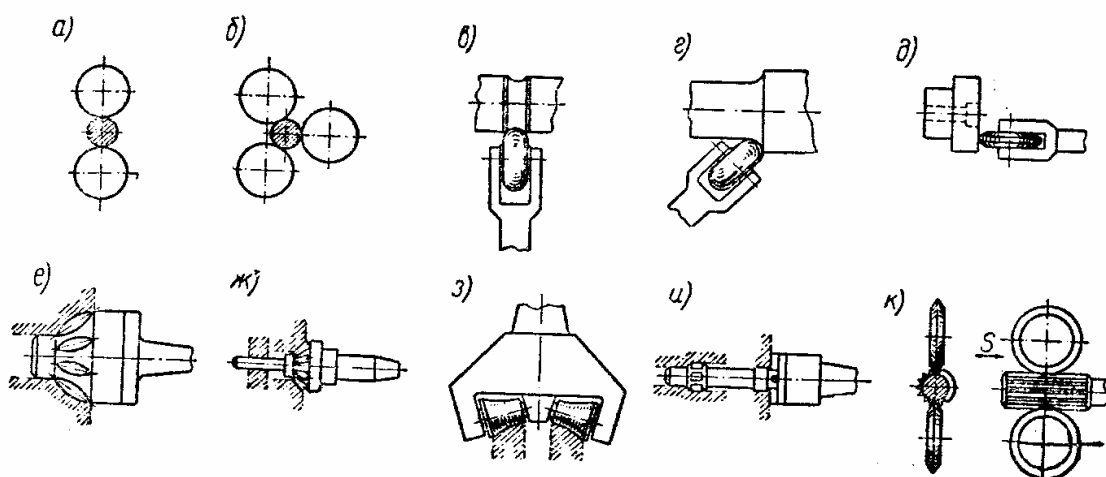


Рис. 12.5. Схемы обработки поверхностей роликами:

- а* и *б* – многороликовое обкатывание цилиндрических поверхностей;
- в* и *г* – обкатывание канавки и галтели; *д* – обкатывание торцевой поверхности;
- е* и *ж* – многороликовое раскатывание сферической и конической поверхностей;
- з* – обкатывание наружной сферической поверхности; *и* – раскатывание отверстия;
- к* – обкатывание дна шлицев

Выбор конструктивных форм роликов зависит от технологического назначения и особенностей обрабатываемой поверхности. Так, ролики с цилиндрическим пояском применяют для обкатывания заготовок со свободным выходом по длине. Ролики с закрытым радиусом – для галтелей. Комбинированные формы роликов – для цилиндрических и торцевых поверхностей и т. п.

Для поддержания заданного давления процесс обкатывания регулируют и контролируют с помощью специальных тарированных пружин или гидравлических устройств. Основное технологическое время при обкатывании роликом определяется так же, как и при точении. Подача выбирается в пределах 0,1 – 0,2 мм.

Точность выдавливания деталей обычно находится в пределах 0,001–0,002 их диаметра.

Накатывание рифлений. Для образования на поверхностях цилиндрических деталей рифлений применяют метод накатывания плоскими плашками (на резбонакатных станках) или вращающимися цилиндрическими роликами (на токарных и револьверных станках).

Плоские поверхности накатывают на поперечно-строгальных, долбежных и горизонтально-фрезерных станках свободно вращающимися роликами с принудительной подачей заготовки.

Накатывание рифления может быть прямым, угловым и сетчатым. Выбор конструкции накатного инструмента зависит от технологического назначения и заданной формы поверхности.

Прямое и угловое накатывание обычно выполняют одним, а сетчатое – двумя роликами с одновременным встречным накатыванием под углом.

На рис. 12.6 приведены виды накаток – прямых, сетчатых и угловых рифлений.

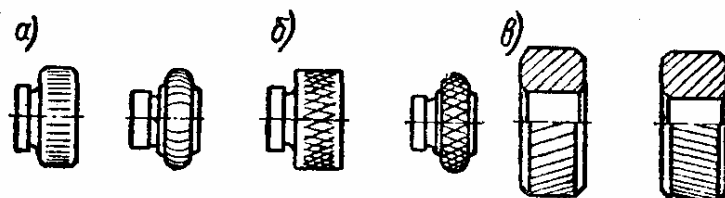


Рис. 12.6. Виды накаток:
а – прямая; б – сетчатая; в – угловая (правая и левая)

В процессе накатывания рифлений обычно происходит увеличение диаметра обрабатываемой поверхности; необходимая глубина накатывания получается в результате нескольких последовательных проходов, число которых зависит от свойств обрабатываемого материала, заданного шага и глубины рифлений.

Накатывание зубчатых колес. Одним из производительных методов обработки зубчатых колес является накатывание зубьев в холодном состоянии. Этот метод обработки позволяет повысить производительность в 15 – 20 раз по сравнению с обычными методами нарезания зубчатых колес

и обеспечивает качество поверхностей зуба как в отношении микрогеометрии, так и износостойкости.

Основным условием обработки зубчатых колес накатыванием в холодном состоянии является достаточная пластичность металла заготовки. Этому условию удовлетворяют алюминиевые и медные сплавы (за исключением бронз некоторых марок), а также некоторые марки нержавеющей стали при соответствующей предварительной термической обработке.

В процессе накатывания зубьев поверхностные слои металла сильно наклепываются, причем наклеп распространяется на значительную глубину. Для предотвращения износа зубонакатного инструмента – зубчатых валков, а также возможного перенапряжения поверхностных слоев металла заготовки целесообразно между операциями накатывания выполнять промежуточную термообработку заготовки – отжиг.

В технологии производства применяют несколько схем накатывания зубчатых колес: 1) одним валком; 2) двумя валками без заборной части; 3) двумя валками с заборной частью; 4) тремя валками; 5) двумя рейками.

Выбор схемы накатывания в значительной степени зависит от длины образующей обрабатываемого зуба. Практикой установлено, что накатывание зубчатых колес небольшой ширины отдельными заготовками целесообразно осуществлять двумя валками без заборной части (рис. 12.7, *а*), а зубчатых колес большой ширины или собранных в пакет на оправку нескольких заготовок – двумя валками с заборной частью (рис. 12.7, *б*).

В первом случае заготовку 3 устанавливают центровым отверстием на штыри оправки 5 и поводка 10, которые закреплены в стойке 11 центрирующего приспособления.

Центрирующее приспособление устанавливают на основании 12 таким образом, что в процессе накатывания зуба происходит качение и самоустанавливание заготовки относительно зубчатых валков. Предварительное накатывание производят зубчатыми валками 2 и 7, а окончательное – калибрующими валками 4 и 6, принудительно вращающимися в одном и том же направлении.

При сближении зубчатых валков в радиальном направлении в результате пластической деформации металла вращающейся заготовки впадины зубьев валков постепенно заполняются металлом заготовки, образуя зубья.

На заданное число зубьев заготовку делят принудительно с помощью делительных зубчатых колес 1 и 8 (ведущих) и 9 (ведомого). Ведущие зубчатые колеса жестко закреплены на шпинделях зубчатых валков, а ве-

домое зубчатое колесо находится на одном валу с поводком 10 центрирующего устройства и соединено с ним штырями.

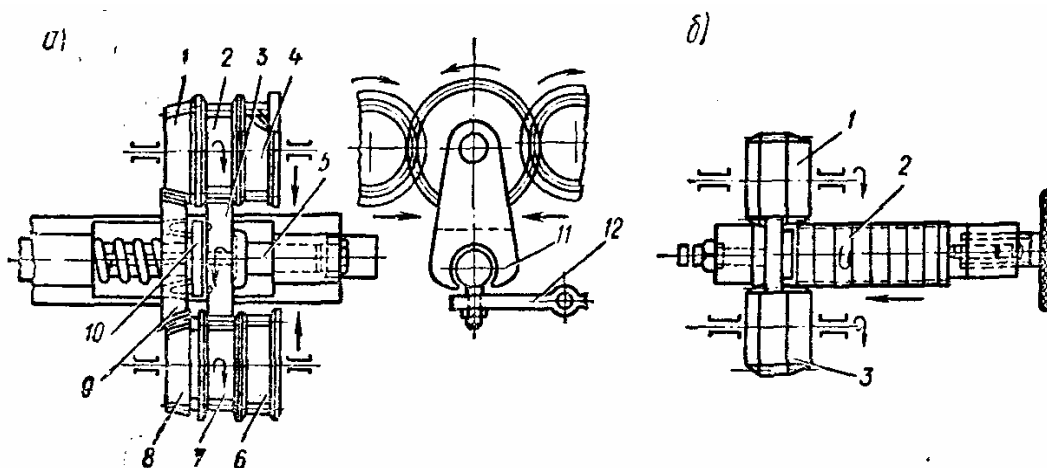


Рис. 12.7. Схемы накатывания зубчатых колес:

- a* – накатывание одиночной заготовки двумя валками без заборной части;
- б* – накатывание заготовки колеса длинной образующей зуба двумя валками с заборной частью

Во втором случае (рис. 12.7, *б*) заготовку 2 (или собранные в пакет на оправку несколько заготовок) закрепляют в центровочном приспособлении так же, как при накатывании зуба валками без заборной части.

Валки 1 и 3 с заборной частью и обратным конусом, установленные на определенном расстоянии друг от друга, обкатывают заготовку, перемещающуюся вдоль зубчатых валков.

Заборная часть обеспечивает постепенное проникновение зубчатых валков в металл заготовки и заполнение впадин зубьев валков металлом без изменения их межосевого расстояния.

Делительное зубчатое колесо, находящееся в зацеплении с зубчатыми валками, сообщает принудительное вращение заготовке совместно с зубчатыми валками.

Инструментом для накатывания зубчатых колес являются зубчатые валки, с обеих сторон которых надеваются ограничительные реборды (диски), препятствующие вытеснению валками металла в осевом направлении и образованию облоя.

Головка зуба валка образует ножку, а ножка зуба валка – головку зуба зубчатого колеса, что обуславливает размеры элементов зуба валков. Головку зуба принимают равной 1,2 модуля, а ножку – равной модулю.

Первые опыты по накатыванию зубчатых колес относятся к 1860 г., но тогда они не были реализованы ввиду низкого уровня техники. Затем

различного рода схемы технологического процесса накатывания зубчатых колес были предложены различными учеными и инженерами-исследователями.

Мелкомодульные зубчатые колеса можно накатывать на обычных токарно-винторезных станках путем применения специального приспособления с тремя неприводными зубчатыми валками, расположенными под углом 120° друг к другу. Этот метод обеспечивает накатывание зубчатых колес с точностью зацепления по 7-й степени и чистотой поверхности 7 – 10 класса.

Наклепывание поверхностей шариками. Для повышения твердости и чистоты поверхности заготовки применяют метод наклепывания шариками. Сущность этого метода заключается в том, что обрабатываемую поверхность подвергают многократным, следующим один за другим, ударам шариками. Для этого шарики помещают в гнезда диска, вращающегося с большой скоростью, в которых шарики под действием центробежной силы смещаются на определенную величину S в радиальном направлении и через отверстия на периферии диска наносят удары по обрабатываемой поверхности.

На рис. 12.8 приведена схема процесса наклепывания шариками поверхностей вала и отверстия.

Наклепывание шариками можно применять также для плоских поверхностей, а при использовании копира – и для обработки фасонных поверхностей. Этот процесс обычно осуществляют при скорости вращения диска до 25 м/с и обрабатываемой заготовки – до 90 м/мин. Для этого вида обработки применяют шлифовальные станки или приспособления, устанавливаемые на токарно-винторезном станке.

Твердость наклепанного слоя и чистота обработанной поверхности зависят от силы и числа ударов шариков, приходящихся на 1 мм^2 , а также от исходной твердости обрабатываемого металла. Эти параметры в свою очередь зависят от скорости вращения диска ($\sim 25 \text{ м/с}$) и обрабатываемой заготовки ($\sim 30 - 90 \text{ м/мин}$), а также от расстояния принудительного оттачивания шариков (от 0,5 до 0,8 мм), размеров шарика (7 – 10 мм) и др.

Поверхностная твердость наклепанного слоя повышается при этом на 15 – 60 %, однако чем выше исходная твердость материала, тем меньше

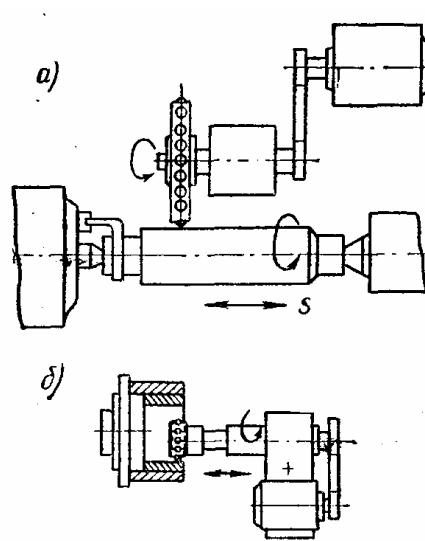


Рис. 12.8. Схемы наклепывания шариками: а – наружной поверхности; б – внутренней поверхности

эффект наклепа. Так, например, поверхностная твердость заготовки из стали 45 увеличивается на 17 %, а из стали 25 – на 45 %.

Выбор режима обработки поверхности шариками имеет существенное значение. Неправильно выбранный режим может привести к возникновению в поверхностном слое чрезмерно больших напряжений, а при обработке чугуна – даже к разрушению этого слоя. Для работы шарик обычно смазывают смесью веретенного масла с керосином, а обрабатываемую поверхность – керосином.

Дробеструйное наклепывание. Для повышения прочности деталей, работающих в условиях ударной нагрузки, предупреждения их растрескивания при работе в коррозионных средах, а также для повышения маслоудерживающих свойств обработанной поверхности применяют дробеструйное наклепывание. Сущность этого процесса заключается в том, что обработанную заготовку подвергают многочисленным ударам дробинок из чугуна, стали, алюминия или стекла. Чугунную или стальную дробь применяют для наклепывания стальных изделий, а алюминиевую или стеклянную – для наклепывания изделий, изготовленных из цветных сплавов. Глубина наклепа обычно не превышает 2 мм. Толщина наклепанного слоя возрастает с увеличением диаметра дроби и ее скорости и падает с увеличением твердости обрабатываемой заготовки. Твердость в результате наклепа несколько повышается. Так, у заготовок из стали 20 – на 40 %, а из стали 45 – на 20 %. Достижимая чистота поверхности 8 – 9 класс. Эффективность дробеструйного наклепывания зависит от размера дроби (0,4 – 2 мм), скорости ее движения (60 – 100 м/с), угла между направлением полета дроби и плоскостью, проходящей через ось обрабатываемой поверхности, и продолжительности наклепывания (устанавливается экспериментально).

Для выполнения этой операции применяют специальное оборудование, состоящее из рабочей камеры и дробеструйного устройства.

Наибольшее распространение получили механические и пневматические дробеструйные устройства. Механическая установка состоит из рабочей камеры, снабженной механизмами для перемещения обрабатываемой заготовки под струей дроби, и дробеструйного устройства в виде быстровращающегося ротора, снабженного лопатками, разбрасывающими дробь. В пневматической дробеструйной установке дробь выбрасывается сжатым воздухом под давлением из нескольких форсунок.

Кроме этих основных рабочих органов, дробеструйная установка снабжена различными (транспортирующим, очистным и специальным пылеулавливающим) устройствами, а также вентиляцией [2, 3].

13. МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОФИЗИКОХИМИЧЕСКОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ (ЭФХКО)

Традиционные методы обработки во многих случаях не могут решить задачи, стоящие перед современным машиностроением, что привело к появлению новых методов обработки, основанных на электрофизических, электрохимических и комбинированных воздействиях на обрабатываемое изделие, и созданию на их основе нового оборудования.

Перечень наименований методов и операций ЭФХКО и их условные обозначения, как рекомендуемые ГОСТами, так и принятые в данном УМК, приведены ниже.

- ААБО** – анодно-абразивная обработка
- ААБП** – анодно-абразивное полирование
- АБЭХО** – абразивно-электрохимическая обработка
- АБЭЭО** – абразивно-электроэрозионная обработка
- АЛЭХО** – алмазно-электрохимическая обработка
- АЛЭХШ** – алмазно-электрохимическое шлифование
- АЛЭЭО** – алмазно-электроэрозионная обработка
- АЛЭЭШ** – алмазно-электроэрозионное шлифование
- АМО** – анодно-механическая обработка
- АМР** – анодно-механическое резание
- АМШ** – анодно-механическое шлифование
- МАО** – магнитно-абразивная обработка
- МИО** – магнитно-импульсная обработка
- МКО** – магнитная комбинированная обработка
- НЭ** – нагрев в электролите
- ОКД** – обработка короткой дугой (разновидность ЭЭО)
- ПЗО** – плазменная обработка
- ПЗМО** – плазменно-механическая обработка
- ПЗКО** – плазменная комбинированная обработка
- СЛО** – светолучевая (лазерная) обработка
- КМО** – комбинированные методы обработки
- УЗДО** – деформационная обработка с вводом ультразвуковых колебаний
- УЗМР** – механическое резание с вводом ультразвуковых колебаний
- УЗМС** – механическое сверление с вводом ультразвуковых колебаний
- УЗМТ** – механическое точение с вводом ультразвуковых колебаний

УЗМШ – механическое (абразивное) шлифование с вводом ультразвуковых колебаний

УЗНР – нарезание резьбы с вводом ультразвуковых колебаний

УЗО – ультразвуковая обработка

УЗП – ультразвуковая пайка

УЗР – ультразвуковое резание

УЗС – ультразвуковая сварка

УЗКО – ультразвуковая комбинированная обработка

УЗСФ – суперфиниш с вводом ультразвуковых колебаний

УЗУПР – ультразвуковое упрочнение

УЗШ – ультразвуковое шлифование

ЭАБО – электроабразивная обработка

ЭАБШ – электроабразивное шлифование

ЭАЛЗ – электроалмазная заточка

ЭАЛО – электроалмазная обработка

ЭГО – электрогидравлическая обработка

ЭИМ – электроимпульсная обработка (разновидность ЭЭО)

ЭИС – электроискровая обработка (разновидность ЭЭО)

ЭКАР – электроконтактно-абразивное резание

ЭКО – электроконтактная обработка (разновидность ЭЭО)

ЭКУЗ – электроконтактно-ультразвуковая обработка

ЭЛО – электронно-лучевая обработка

ЭМТ – электромеханическое точение

ЭХАХО – электрохимическое алмазное хонингование

ЭХАЭО – электрохимико-абразивно-электроэрозионная обработка

ЭХГ – электрохимическое глянецвание

ЭХЗ – электрохимическая зачистка

ЭХО – электрохимическая обработка

ЭХОП – электрохимическая отделка поверхности

ЭХП – электрохимическое полирование

ЭХРО – электрохимическая размерная обработка

ЭХКО – электрохимическая комбинированная обработка

ЭХТ – электрохимическое травление

ЭХУЗ – электрохимико-ультразвуковая обработка

ЭХШ – электрохимическое шлифование

ЭЭО – электроэрозионная обработка

ЭЭКО – электроэрозионная комбинированная обработка

ЭЭУЗ – электроэрозионно-ультразвуковая обработка

ЭЭХАБ – электроэрозионнохимическая-электроабразивная обработка

ЭЭХАЛ – электроэрозионнохимическая-электроалмазная обработка

ЭЭХО – электроэрозионно-электрохимическая обработка

13.1. Классификация методов ЭФХКО

К методам ЭФХКО относят различные по схемному и аппаратурному оформлению и назначению методы обработки, основанные на использовании электрической энергии или специфических физических явлений, создаваемых этой энергией, для удаления материала и (или) формоизменения обрабатываемой заготовки.

Выше перечислены методы ЭФХКО, сгруппированные по характеру основных реализуемых электрохимических или электрофизических явлений с учетом некоторых принципиальных особенностей, отличающих их от традиционных технологических методов обработки материалов, использующих преимущественно механическое (силовое) воздействие на обрабатываемые материалы. Главные из этих особенностей приведены ниже.

1. ЭФХКО любых материалов независимо от их механических свойств (твердости, вязкости, хрупкости и др.) осуществляется без приложения значительных механических усилий. Во многих случаях обработка проводится без механического контакта обрабатывающего инструмента с поверхностью заготовки.

2. При ЭФХКО полностью отсутствует необходимость в применении специальных обрабатывающих инструментов, более твердых и прочных, чем обрабатываемый материал. Соответственно исключается необходимость передачи значительных механических усилий через систему СПИЗ, что позволяет упростить кинематику и уменьшить массу оборудования, так как достаточно обеспечить требуемую жесткость и точность узлов станка. Во многих случаях обрабатывающий инструмент (в обычном его понимании) вообще отсутствует, и его функции выполняет соответствующим образом сформированный поток электронов, ионов, фотонов и т. д.

3. С помощью ЭФХКО можно выполнить множество технологических операций, не выполнимых методами обработки резанием или давлением, что позволяет конструктору на качественно новой основе решать задачи создания новых конструкций машин, механизмов, приборов; повышать надежность и технические параметры выпускаемой продукции.

4. При ЭФХКО во многих случаях сокращаются расход дорогих инструментальных и абразивных материалов и потери обрабатываемого материала.

5. Удельная производительность и скорость ЭФХКО обычно не зависят от твердости и хрупкости обрабатываемых материалов в отличие от механических методов обработки, где эта зависимость явно выражена. Трудоемкость и длительность обработки твердых и хрупких материалов меньше, чем при обработке резанием.

Увеличив мощность (плотность) энергии, вводимой в зону обработки, можно значительно повысить удельную и общую производительность обработки. Во многих случаях при этом не требуется увеличивать пропорционально массу и габаритные размеры оборудования, размеры инструмента или оснастки.

6. Методы ЭФХКО можно частично или полностью механизировать и автоматизировать с использованием более простых и современных средств, чем при обработке резанием. При этом значительно облегчается переход на многостаночное обслуживание и программное управление операциями. Кинематика формообразования для большинства этих методов более проста, чем при обработке резанием. Обрабатывающий электрод-инструмент обладает значительно большим числом степеней свободы, чем металлорежущий инструмент.

7. Методы ЭФХКО характеризуются широким диапазоном технологических возможностей, охватывают практически все операции, встречающиеся в металлообработке, машиностроении и смежных областях, и обеспечивают в оптимальных режимах достижение требуемых показателей точности, качества поверхности, эксплуатационных характеристик, повышения стойкости инструмента и т. д.

8. ЭФХКО проводят, как правило, без приложения оператором значительных физических усилий, он не испытывает повышенных нагрузок или утомляющих воздействий; квалификация оператора, обслуживающего механизированное и автоматизированное оборудование, может быть относительно невысокой. Однако квалификация наладчика этого оборудования или программиста должна быть высокой.

Эргономические и эстетические характеристики рабочих мест на участках ЭФХКО более благоприятны для работающих, чем при традиционных способах обработки резанием.

9. Использование отдельных методов ЭФХКО в сочетании (комбинации) со многими операциями механической или теххимической об-

работки позволяет значительно интенсифицировать последние без существенного усложнения технологии и оборудования.

10. С помощью ЭФХКО значительно облегчается возможность проведения местной обработки деталей и изделий с большими габаритными размерами без применения специальных крупных станков или громоздкой оснастки.

Наряду с большим комплексом положительных технических, технологических и экономических показателей каждому методу ЭФХКО присущи и недостатки либо ограничения, обусловленные их природой и носящие временный характер. Их следует учитывать при выборе метода. Однако число общих для всех методов недостатков невелико. Основными из них являются:

1) повышенная энергоемкость по сравнению с обработкой резанием деталей простых форм из обычных конструкционных материалов при тех же производительности и качестве поверхности;

2) необходимость применения специального (часто нестандартного) оборудования для выполнения отдельных операций;

3) недостаточность объема выпуска универсального оборудования, изготовленного с использованием современных технологий ЭФХКО;

4) необходимость сбора и утилизации отходов, накапливающихся на крупных участках ЭФХКО.

Вместе с тем общим положением, относящимся в той или иной мере ко всем разновидностям ЭФХКО, является то, что по сравнению с обработкой резанием эти методы тем выгоднее применять, чем сложнее форма обрабатываемой детали или изделия. Этим положением определяется общая принципиальная направленность методов ЭФХКО как новых, прогрессивных технологических методов, преимущественно используемых при создании объектов новой техники, применении новейших материалов, переходе к новым формам организации производства, внедрении в практику новейших достижений техники.

13.2. Сущность и общие характеристики электрофизических методов обработки

Проблемы развития современного производства, совершенствования конструкций машин, аппаратов и улучшения их эксплуатационных характеристик связаны с поиском новых принципов и методов обработки различных металлов и материалов. Традиционные методы обработки во мно-

гих случаях не могут решить задачи, стоящие перед машиностроением и приборостроением. Острая необходимость разработки принципиально новых методов обработки, использующих новые процессы воздействия, обусловливается возросшими требованиями к физико-механическим свойствам материалов (прочность, износостойкость, термостойкость), сложностью конструкций деталей, высокими темпами производства. Интенсивный поиск новых процессов привел к появлению новых методов, основанных на электрофизических, электрохимических и комбинированных (ЭФХКО) воздействиях на обрабатываемое изделие, и созданию на их основе нового оборудования.

В настоящем обзоре рассматриваются наиболее распространенные в промышленности ЭФХКО методы получения изделий заданных формы и размеров путем удаления с заготовки припуска, а также упрочняющие методы. К ним относятся электрофизические (ЭФ) методы: электроэрозионный (ЭЭ); плазменный (П); электроннолучевой (ЭЛ) и лазерный (Л), использующие энергию электрического тока или электромагнитного поля, которая преобразуется в зоне обработки в тепловую, вызывающую плавление и испарение материала; ультразвуковой (УЗ), хотя по своей природе он ближе к механической обработке. Электрохимические методы основаны на растворении поверхностного слоя материала при протекании тока через электролит. К электрофизикохимическим методам также относят комбинированные методы: абразивно-электрохимический, ультразвуковой электрохимический (УЗЭХ), плазменно-механический (ПМ), алмазно-эрозионный (АЭ) и некоторые другие.

В дело создания и развития ЭФХК методов преобладающий вклад внесли советские ученые и инженеры. Создателями электроэрозионного метода являются Б. Р. Лазаренко и Н. А. Лазаренко. Заслуги академиков Н. Г. Басова и А. М. Прохорова в области создания лазерных методов обработки отмечены Нобелевской премией. Первооткрывателями электрохимического метода являются инженеры З. И. Гусев и Л. П. Рожков.

В планах развития народного хозяйства ставятся задачи по использованию электрохимических, плазменных, лазерных, радиационных и других высокоэффективных методов обработки металлов, материалов и изделий.

13.3. Электроэрозионная обработка

Советские ученые в начале 40-х годов, занимаясь проблемой защиты размыкаемых контактов электрических приборов от разрушения – эрозии, пришли к парадоксальной, как тогда казалось, мысли. Нужно не умень-

шать, а всемерно увеличивать эффект эрозии, вызванный электрическим разрядом. Многократно усиленный эффект электрической эрозии может быть использован в промышленности для создания из металлических заготовок сложнейших деталей машин и аппаратов.

В результате многочисленных исследований был разработан новый способ обработки, названный электроэрозионной обработкой (ЭЭО). В Советском Союзе впервые в мире были созданы электроэрозионные станки.

Схема электроэрозионного станка приводится на рис. 13.1. Станок имеет ванну 1, заполняемую диэлектрической жидкостью (керосин, масло), в которой находится стол 2 с установленным на нем обрабатываемым изделием. Электрод-инструмент 3 крепится в инструментальной головке 4. Станок имеет специальную электрогидравлическую или электромеханическую следящую систему, а также систему снабжения диэлектрической жидкостью 5, состоящую из бака, насосов, фильтров, приборов для измерения количества и давления перекачиваемой жидкости. Для возбуждения разрядов от источника питания – генератора импульсов 6 – к изделию и инструменту подводится импульсное напряжение с частотой от сотен до сотен тысяч импульсов в секунду.

При сближении инструмента-электрода с изделием на расстояние, измеряемое десятими и сотыми долями миллиметра, под влиянием электрического поля происходит пробой жидкости, который при ЭЭО связан с образованием токопроводящих мостиков и их взрывом вследствие прохождения по ним тока. При этом образуется токопроводящий канал разряда. Проходящий по нему ток измеряется сотнями и тысячами ампер. Температура в месте воздействия разряда достигает 5 тыс. – 10 тыс. °С. Диэлектрическая жидкость, заполняющая пространство между изделием и инструментом, сдвигает разряд, повышая концентрацию энергии. Выплавляемый и испаряемый металл охлаждается и отвердевает в виде шариков.

Каждый из возникающих разрядов удаляет частичку металла – расстояние между инструментом и изделием в месте воздействия разряда увеличивается, новый разряд возникает там, где это расстояние минимально. Постепенно воздействию разрядов подвергается вся поверхность обрабатываемого изделия. Электрод-инструмент при этом постепенно погружается в заготовку, копируя в ней свою форму. Отсутствие механического контакта между изделием и инструментом позволяет получить любую схему обработки.

Наиболее широкое применение получили так называемая схема прошивки с объемным копированием инструмента и схема контурного вы-

резания проволокой диаметром 0,05 – 0,3 мм (рис. 13.2). При вырезании проволока является электродом-инструментом. Чтобы устранить разрыв проволоки, происходящий под влиянием разрядов, ее перематывают с катушки на катушку.

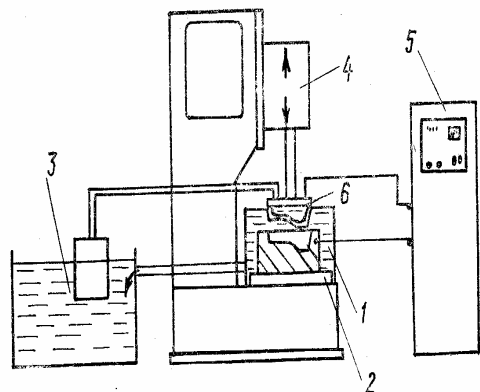


Рис. 13.1. Схема электроэрозионного станка со вспомогательными устройствами энергоснабжения и снабжения диэлектрической жидкостью: 1 – ванна; 2 – стол; 3 – система снабжения диэлектрической жидкостью; 4 – инструментальная головка; 5 – генератор импульсов; 6 – электрод-инструмент

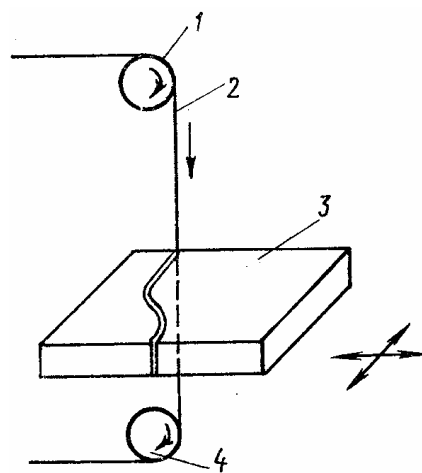


Рис. 13.2. Схема электроэрозионного вырезания проволочным электродом: 1 – подающая катушка; 2 – электрод-инструмент; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – приемная катушка

Проволока перемещается по контуру от копировальной системы или системы числового программного управления, вырезая плоские изделия сложной формы, отверстия сложных профилей. Можно получить сквозные отверстия с точностью 0,01 – 0,02 мм и сложные объемные полости с точностью 0,03 – 0,1 мм. Высота микронеровностей (шероховатость Ra) на чистовых режимах составляет 1,0 – 2,5 мкм. В последние годы разработан полирующий способ ЭЭО, который позволяет получать гладкие глянцевые поверхности с высотой микронеровностей менее 0,2 мкм. Наибольший съем металла в минуту достигает 10 – 20 см³.

Электродом-проволокой вырезают сложноконтурные детали с точностью 0,015 – 0,03 мм и высотой микронеровностей 1 – 2 мкм. Проволока при вырезании движется по контуру со скоростью 0,3 – 3,0 мм/мин, а в отдельных случаях – со скоростью до 10 – 12 мм/мин.

Станкостроительная промышленность выпускает копировально-прошивочные станки нормальной и повышенной точности с размерами столов от 200×125 до 1120×800 мм. Станки оснащаются адаптивными системами, анализирующими процесс обработки, и источниками питания с

микропроцессами, позволяющими проводить предварительный набор режимов с последующим его включением без вмешательства оператора.

Вырезные станки, выпускаемые в странах СНГ, оснащены устройствами числового программного управления, а также электро- и фотокопировальными устройствами перемещения электрода-проволоки по заданному контуру. Они предназначены для вырезания деталей, наибольшие габаритные размеры которых составляют от 200×125 до 950×450 мм.

13.4. Лазерная обработка

Лазерная или светолучевая обработка основана на том, что световое излучение, сфокусированное на обрабатываемое изделие при необычайно высокой удельной мощности (порядка 10^7 Вт/см² и более), позволяет в тысячные доли секунды испарить в зоне фокусного пятна даже такой тугоплавкий металл, как вольфрам, и прожечь в нем отверстие. Такой высокой удельной мощностью световой поток может обладать только в том случае, если он будет монохроматичным (одноцветным), распространяться параллельно (иметь малую расходимость светового потока) и достаточно интенсивным. Ни один из обычных источников света не обладает одновременно всеми этими свойствами. Такой источник света, названный оптическим квантовым генератором (ОКГ) или лазером, удалось создать в начале 50-х годов в основном благодаря работам советских ученых – академиков Н. Г. Басова и А. М. Прохорова. В настоящее время для размерной обработки используются твердотельные (на основе рубина, алюмоиттриевого граната и др.) и газовые (на основе углекислого газа) ОКГ, работающие в импульсном или непрерывном режиме, как в воздушной среде, так и в высоком вакууме.

Принцип работы лазерного станка с импульсным ОКГ из искусственного рубина, полученного из оксида алюминия, в котором небольшое число атомов алюминия замещено атомами хрома, состоит в следующем (рис. 13.3). В качестве внешнего источника энергии применяется импульсная лампа 2, питаемая от емкостного генератора 1. При излучении лампы ионы хрома, находящиеся в рубине 4, поглощают кванты света с длинами волн, которые соответствуют зеленой и синей частям видимого спектра, и переходят в возбужденное состояние. Лавинообразный возврат в основное состояние достигается с помощью параллельных зеркал 3. Выделившиеся кванты света, соответствующие красной части спектра (со строго определенной длиной волны – 0,69 мкм), многократно отражаются в зеркалах и,

проходя через рубин, ускоряют возврат всех возбужденных электронов в основное состояние.

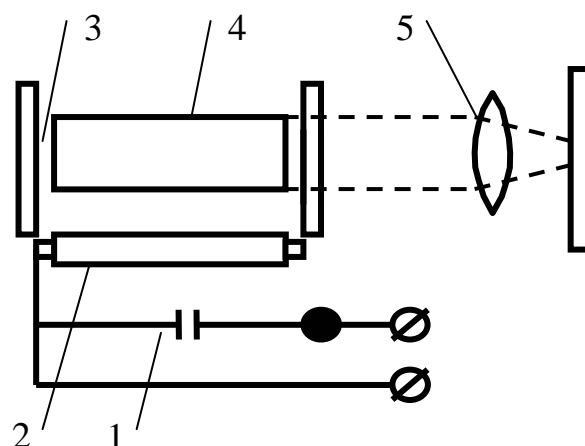


Рис. 13.3. Схема лазерного станка с импульсным оптическим генератором:
1 – емкостный генератор; 2 – импульсная лампа; 3 – зеркало;
4 – рубиновый стержень; 5 – фокусирующая система

Одно из зеркал делается полупрозрачным, и через него луч выводится наружу. Этот луч имеет очень малый угол расхождения, так как состоит из квантов света, многократно отраженных и не испытавших существенного отклонения от оси квантового генератора. Такой мощный монохроматический луч с малой степенью расходимости фокусируется линзой 5 на обрабатываемую поверхность и дает чрезвычайно маленькое фокусное пятно (диаметром до 5 – 10 мкм), в котором достигается требуемая для обработки удельная мощность. С помощью этого луча можно получать отверстия и прорезы диаметром или шириной 0,02 мм и более при глубине обработки 5 мм и более.

В странах СНГ выпускаются лазерные станки с ЧПУ с различными ОКТ (в зависимости от назначения). Они предназначены для получения систем отверстий в сетках газоразрядных приборов и гидроаппаратуры со скоростью до 10 тыс. отверстий в час, для обработки отверстий в часовых камнях из рубина и в алмазных волокнах, контурного вырезания различных фасонных отверстий в керамических и ферритовых пластинах с точностью порядка 0,005 – 0,01 мм, используемых в микропроцессорной технике, раскроя листовых материалов из различных металлов, диэлектриков, тканей и др.

13.5. Электроннолучевая обработка

Электроннолучевая обработка по принципу действия и областям применения близка к лазерной. Установки для обработки электронным лучом (пучком электронов) – весьма сложные устройства, в которых использованы все достижения современной электроники, электротехники, автоматики, вакуумного приборостроения и др. Основная их часть – электронная «пушка», генерирующая пучок электронов. Электроны с помощью электростатических и магнитных устройств разгоняются до околосветовых скоростей и остро фокусируются на обрабатываемое изделие. Здесь они тормозятся и, отдавая в зоне обработки свою кинетическую энергию, которая преобразуется в тепло, практически мгновенно испаряют любой материал. Обработка ведется в высоком вакууме ($0,5 - 10^{-5}$ мм рт. ст.). Это необходимо для того, чтобы создать для электронов условия свободного, без помех, пробега от катода до обрабатываемой заготовки.

Электроннолучевые установки намного сложнее и дороже лазерных, поэтому лазеры в технологии размерной обработки нашли существенно большее применение. Электроннолучевые установки используются для специальных видов обработки, которые не могут быть выполнены на лазерных станках (обработка в вакууме сверхчистых материалов, получение отверстий диаметром менее 3 – 5 мкм и др.).

13.6. Плазменная обработка

Плазменная обработка – резка – заключается в удалении металла вдоль линии реза плазменной струей. В качестве плазмообразующих газов используются аргон, азот, водород, воздух. В качестве орудия плазменной резки используются плазматроны (плазменные генераторы). Схема работы плазматрона состоит в следующем. Изделие и электрод плазматрона присоединены к источнику постоянного тока. При подаче напряжения на изделие и электрод плазматрона возбуждается дуговой электрический разряд, столб которого заполнен плазмой – средой с таким соотношением положительно (протонов) и отрицательно (электронов) заряженных частиц, что общий заряд равен нулю. По каналу вдувают газ, сжимающий дуговой столб. Температура дугового столба достигает 20 тыс. – 30 тыс. °С. Наибольшее количество тепла выделяется в прианодной области – у изделия. Дуговой разряд можно возбуждать между корпусом плазматрона и электродом и вдувать плазменную струю в сторону изделия. В этом случае

энергия подводится к изделию менее интенсивно, но само изделие может быть неэлектропроводным.

Плазменный метод обработки позволяет резать материалы толщиной до 200 мм. Особенно эффективна резка сталей толщиной до 10 – 20 мм – скорость резания достигает 2 – 4 м/мин. Достоинством метода плазменной резки является уменьшение коробления вырезаемых изделий и шероховатости поверхности – высота микронеровностей у поверхности реза составляет 160 мкм.

Плазменную резку выполняют на переносных и стационарных машинах, оснащенных режущими плазматронами, источниками питания, системами подачи газа и охлаждающей водой. Машины оборудуют устройствами для автоматического перемещения плазматрона по заданному контуру по программе или копиру. В настоящее время открытая плазма используется также для сварки, нанесения покрытий и других металлургических операций.

13.7. Ультразвуковая обработка

Ультразвуковая (УЗ) обработка основана на механическом откалывании при ударе частиц материала с его поверхности зернами абразива, получающими энергию от инструмента, колеблющегося с ультразвуковой частотой.

Ультразвуковым методом эффективно обрабатываются хрупкие материалы, в том числе твердые (стекло, керамика, германий, кремний, рубины, алмазы, твердые сплавы и др.). Процесс обработки требует значительной мощности колебаний инструмента, которая в 10^{10} – 10^{12} раз больше допустимой для слуха человека. Механические колебания инструмента частотой выше 18 кГц получают путем преобразования электрических колебаний. Преобразователь представляет собой либо набор пластин магнитоstrictionного материала (например, никель или сплавы кобальта), обладающего способностью изменять линейные размеры в переменном магнитном поле, либо из пьезокерамических пластин, изменяющих линейные размеры в переменном электрическом поле.

Ультразвуковые станки имеют аналогичную электроэрозионным компоновку. Колеблющийся инструмент вместе с преобразователем крепится в инструментальной головке и перемещается в направлении к обрабатываемому изделию специальным регулятором, прижимающим инструмент к изделию с определенной силой. В зону обработки вводят абразивную суспензию (смесь зерен абразива с водой) – происходит направленное

разрушение обрабатываемого материала. В результате инструмент погружается в заготовку, копируя в ней форму.

Инструменты могут быть изготовлены из обычных конструкционных углеродистых сталей, а абразивы – в зависимости от обрабатываемого материала из порошков карбида бора, кремния, алмазных порошков с величиной зерен от нескольких до сотен микрометров.

Для питания преобразователей УЗ станков используются специальные генераторы мощностью 0,05 – 2,5 кВт, работающие в диапазоне частот 22 или 44 кГц.

Наибольшая производительность при обработке стекла достигает 5000 мм/мин, твердого сплава – 75 мм³/мин. Шероховатость поверхности может быть доведена до 0,5 – 1,0 мкм. При обработке хрупких материалов (стекла, мрамора, кремния и других) относительный износ инструмента составляет 0,5 – 1,1 %, при обработке твердых материалов типа вольфрамкобальтовых твердых сплавов – 40 – 60 %. Точность обработки при этом составляет 0,01 – 0,04 мм.

В СНГ ультразвуковые станки выпускаются мощностью 0,4 и 1,6 кВт со столами диаметром 160 и 320 мм соответственно. Станки имеют систему автоматической настройки колебательной системы на оптимальный резонансный режим. Станок мощностью 0,4 кВт оснащен устройством для вращения инструмента, благодаря чему обеспечивается возможность сверления хрупких материалов инструментом, шаржированным алмазными зернами. Это позволяет повысить точность и производительность обработки круглых отверстий.

13.8. Электрохимическая обработка

Применение электрохимических методов обеспечивает высокие производительность и качество обработки металла.

Процесс съема припуска при электрохимической обработке протекает одновременно по всей поверхности изделия, охватываемой инструментом. При этом отделяемые с поверхности частицы очень малы. Повышение количества вводимой в зону обработки энергии, не увеличивая размеров частиц, приводит к более равномерному съему. Все это дает значительную экономию материала, снижает трудоемкость изготовления деталей, инструмент не изнашивается. Компоновка электрохимического станка аналогична станку для электроэрозионной обработки. Их отличия состоят в том, что вместо диэлектрической жидкости используется электролит (водный раствор поваренной соли или азотнокислого натрия), рабочее напряжение

значительно ниже – 8 – 24 В. В качестве источника питания часто используется выпрямитель. Обрабатываемое изделие всегда подключено к положительному полюсу источника питания.

При прохождении тока через электролит изделие (анод) растворяется и переходит в ионное состояние. Образующиеся в ходе электролиза продукты реакций заполняют промежуток между изделием и инструментом. На поверхности изделия происходит образование окисных пленок в результате адсорбционно-химического взаимодействия поверхности анода с электролитом и пленок из продуктов реакции. Это тормозит процесс анодного растворения. Для очистки промежутка и анодной поверхности прокачивается электролит под давлением.

Электрохимическим методом выполняют копировально-прошивочные операции, обработку вращающимся дисковым инструментом, удаление заусенцев.

Прошивание отверстий на ЭХ станках производится со скоростью 5 – 6 мм/мин, копировально-прошивочная обработка сложных объемных форм выполняется при скорости погружения инструмента в заготовку 0,3 – 1,5 мм/мин, высота микронеровностей обработанной поверхности составляет 0,3 – 4,0 мкм.

К недостаткам электрохимических способов обработки, ограничивающим их применение, относятся громоздкость оборудования и сравнительно низкая точность при прошивке отверстий (0,05 – 0,15 мм) и обработке объемных форм (0,2 – 0,5 мм).

В настоящее время в Беларуси, во многих странах СНГ и ряде зарубежных стран ведутся работы по повышению точности электрохимических станков.

Выпуск ЭХ станков производится небольшими партиями, значительную долю которых составляют специализированные станки для обработки изделий в массовом и серийном производстве. Применение экспериментальных методов позволяет повысить точность обработки и стабилизировать ее режимы.

13.9. Комбинированные методы обработки

Комбинированные методы обработки получили распространение в начале 60-х годов.

Комбинирование различных по своей природе процессов часто приводит к получению качественно новых методов обработки. Совмещая абразивное шлифование с электроэрозионными и электрохимическими про-

цессами, ультразвуковую обработку с электрохимической, электроэрозионный и электрохимический процессы, плазменный разогрев с резанием можно получить принципиально новые способы обработки.

Абразивно-электрохимическая обработка. При абразивно-электрохимической обработке (АЭХО) съем металла происходит в результате сочетания электрохимического и механического способов обработки – микрорезания и анодного растворения. Анодное растворение металла заготовки уменьшает толщину срезаемых микростружек и сокращает зону механического контакта шлифовального круга и шлифуемого изделия. При этом электрохимические процессы снижают сопротивление металла резанию за счет адсорбционного уменьшения прочности поверхностного слоя металла. Вследствие снижения сил резания уменьшается выделение тепла – снижается разогрев поверхностного слоя металла, вследствие чего ликвидируется возникновение микротрещин у металлов, склонных к трещинообразованию. При абразивно-электрохимическом шлифовании некоторых марок магнитных сплавов, жаропрочных сталей и сплавов, твердых вольфрамсодержащих сплавов производительность обработки по сравнению с традиционными способами шлифования повышается в 2 – 3 раза. Для выполнения операций с использованием абразивно-электрохимической обработки выпускается целая гамма станков, обеспечивающих все виды шлифования и заточки инструмента.

Абразивно-электроэрозионная обработка. Съем металла во время абразивно-электроэрозионной обработки (АЭЭО) осуществляется только микрорезанием в условиях непрерывного электроэрозионного воздействия на поверхность шлифовального круга. Электрические разряды возбуждают либо непосредственно между изделием и инструментом, либо между шлифовальным кругом и дополнительным электродом.

Вследствие электроэрозии происходит разрушение связки, удерживающей абразивные зерна, и затупившиеся зерна постоянно отделяются от основы круга, уступая место острым зернам. Это повышает режущие способности инструмента, снижает усилия шлифования. Абразивно-электроэрозионная обработка по сравнению с АЭХО обладает тем преимуществом, что отсутствует электролит, вызывающий коррозию оборудования. При АЭЭО снижается износ шлифовального круга, что очень важно при алмазном шлифовании.

Абразивно-электроэрозионный способ обработки наиболее целесообразен при шлифовании изделий, изготовленных из двух материалов, например, из стали и твердого вольфрамового сплава.

Для АЭЭО в настоящее время серийно выпускаются заточные, внутри- и круглошлифовальные станки.

Электроэрозионно-химическая обработка. Этот метод основан на совмещении процессов анодного растворения и электроэрозионного разрушения металла. При электроэрозионно-химическом методе в зону обработки вводится не диэлектрик, как при электроэрозионной обработке, а электролит. Обрабатываемое изделие и электрод-инструмент подключаются к источнику питания, возбуждающему электрические разряды. Благодаря улучшению теплоотвода и интенсивному удалению потоком электролита продуктов эрозии, в зону обработки вводятся значительно большие по сравнению с ЭХО и ЭЭО мощности, что приводит к повышению производительности обработки в 10 – 20 раз. Применение этого метода обработки обеспечивает скорость прошивания отверстий до 20 – 40 мм/мин с точностью 0,1 – 0,4 мм.

Ультразвуковая электрохимическая обработка (УЗЭХ). При этом методе обработки вместо взвеси абразива в воде используется взвесь абразива в электролите – (азотнокислый натрий). Между инструментом и обрабатываемым изделием пропускается ток. Применение этого метода позволяет в 10 раз увеличить производительность обработки твердых сплавов по сравнению с ультразвуковой обработкой. Однако при этом несколько снижается точность, поэтому метод УЗЭХ применяют для предварительной обработки, после которой следует чистовая ультразвуковая обработка.

Плазменно-механическая обработка. Съем металла с изделия осуществляется режущим инструментом, перемещаемым за плазматроном, разогревающим удаляемый слой металла. На черновых операциях применение плазменно-механических методов позволяет повысить производительность обработки в 1,5 – 10 раз [4].

14. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ (для студентов заочной формы обучения)

14.1. Разработка технологических операций. Выбор последовательности переходов в операции и средств их технологического оснащения

Производительность технологических операций в значительной степени зависит от их структур, определяемых количеством заготовок, одновременно устанавливаемых в приспособлении или на станке (одно- или многодетная обработка), количеством инструментов, используемых при выполнении операции (одно- или многоинструментная обработка), и последовательностью работы инструментов при выполнении операции (последовательность переходов). Последовательное вступление инструментов в работу или последовательное расположение нескольких заготовок в приспособлении по направлению движения подачи характеризует структуру операции с последовательной обработкой. При параллельном расположении обрабатываемых заготовок в приспособлении (т. е. при их расположении перпендикулярно к направлению движения подачи) и при одновременной обработке нескольких поверхностей одной или нескольких заготовок формируется структура операции с параллельной обработкой. При многоместной обработке заготовок, расположенных в приспособлении в несколько рядов вдоль и поперек движения подачи, операция характеризуется как операция с параллельно-последовательной обработкой.

Экономическая эффективность технологических процессов обработки деталей в значительной степени зависит от рационального решения вопросов построения общего плана (маршрута) обработки. Под технологическим маршрутом изготовления детали понимается последовательность выполнения технологических операций (или уточнение последовательности по типовому или групповому процессу) с определением содержания операций, выбором оборудования и технологической оснастки для их выполнения. Технологические маршруты весьма разнообразны и зависят от конфигурации детали, ее размеров, точности, наличия термической обработки, программы выпуска и других факторов. Вместе с тем, для качественного проектирования маршрута могут быть рекомендованы некоторые общие принципы, характерные для всех классов обрабатываемых деталей:

1. На первой (одной – двух) операциях обрабатывают поверхности, которые будут использоваться в качестве технологических баз на всех или большинстве операций технологического процесса.

2. Используя чистовые базы, обрабатывают остальные поверхности в последовательности, обратной их степени точности, т. е. чем точнее должна быть обработана поверхность, тем позже ее обрабатывают.

3. Используя разработанные ранее маршруты обработки отдельных поверхностей, выявляют необходимость расчленения процессов изготовления детали на стадии обработки. Стадия обработки – это часть технологического процесса, включающая однородную по характеру и точности обработку различных поверхностей и детали в целом. При механической обработке такими стадиями являются: черновая, чистовая, тонкая и отделочная (табл. 14.1).

Целесообразность разделения технологического процесса на стадии обработки обуславливается необходимостью получения деталей заданной точности и рационального использования оборудования, так как это связано с числом и содержанием операций технологического процесса. На каждой стадии выполняют операции, обеспечивающие примерно одинаковую точность обработки. Таким образом, на первых стадиях совмещают окончательную обработку неточных поверхностей и предварительную обработку точных поверхностей, а окончательную обработку точных поверхностей (тонкую и отделочную) проводят в конце технологического процесса. Такое разделение процесса по стадиям позволяет выделить технологические комплексы поверхностей, которые следует обрабатывать совместно с использованием принципа единства баз, т. е. с одной установки. В такие комплексы обычно включают поверхности, связанные допусками на взаимное положение (биение, соосность, координатные размеры). Рационально также создавать технологические комплексы по экономическому принципу, добиваясь сокращения оперативного времени за счет последовательной и параллельной концентрации операций.

4. Вспомогательные поверхности (мелкие отверстия, фаски, галтели, пазы, др.) обычно обрабатывают на чистовой стадии. В самостоятельные операции выделяют обработку зубьев, шлиц, групп отверстий или пазов.

5. Предварительное содержание операций устанавливают объединением тех переходов на данной стадии обработки, которые могут быть выполнены на одном станке. На этом этапе проектирования устанавливают тип, размеры и модели оборудования для выполнения основных операций технологического процесса в зависимости от типа, габаритных размеров детали и заданного масштаба выпуска.

При выборе оборудования обычно ориентируются следующим образом: для единичного производства – на универсальные станки, для серийного – на универсальные станки, станки с ЧПУ и полуавтоматы, для крупносерийного и массового – на полуавтоматы, автоматы и автоматические линии.

Таблица 14.1

Выбор стадий обработки поверхностей в зависимости от требований по точности и шероховатости

Стадии обработки	Достижимые точность, квалитет / шероховатость Ra (Rz), мкм			
	12/(80)	10/(20)	7/1,25	6/0,63
Черновая	1	1	1	1
Чистовая	–	2	2	2
Тонкая	–	–	3	3
Отделочная	–	–	–	4

6. Операции механической обработки увязывают с операциями термической и химико-термической обработок. Промежуточная термическая обработка при необходимости применяется после черновой стадии и заключается в нормализации стальных деталей для улучшения их обрабатываемости на чистовых операциях, а также для старения отливок с целью снятия остаточных напряжений в металле заготовки.

Окончательную термическую обработку выполняют в виде объемной или поверхностной закалки. Если окончательная термическая обработка заключается в объемной закалке детали до твердости выше HRC₃ 40, то эту операцию выполняют после чистовой обработки до шлифования. При необходимости цементации с последующей закалкой отдельных поверхностей детали применяют защитное омеднение тех поверхностей, которые не подлежат цементации или оставляют на них припуск, который снимают при дополнительной обработке после цементации, но до закалки.

7. В маршрутный технологический процесс включают второстепенные операции (обработку крепежных отверстий, слесарные операции, промывку и т. п.), а также определяют место контрольных операций.

Задача 1 (пример). Разработать маршрут обработки вала-шестерни (рис.14.1), изготавливаемого из стали 45 (HRC₃ 40...45) в условиях крупносерийного производства.

Модуль зубьев – 6,5; число зубьев – 12; неуказанные предельные отклонения на размеры – по 14-му квалитету точности.

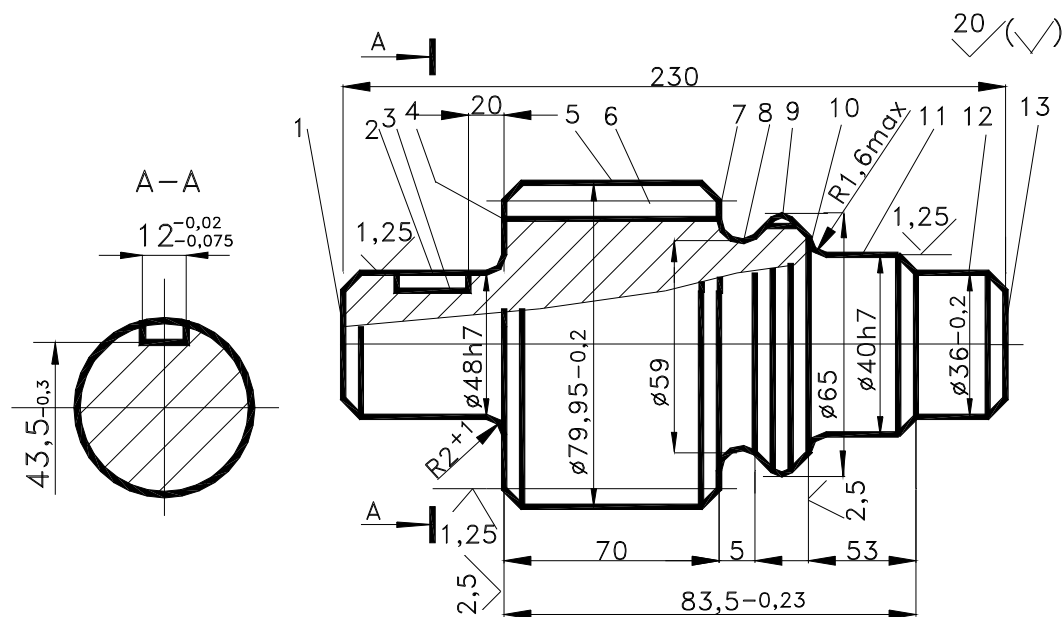


Рис. 14.1. Эскиз вала-шестерни

Решение. Анализ чертежа показывает, что наиболее высокие требования по точности и качеству предъявляются к опорным шейкам, прилегающим к ним торцам и зубчатой поверхности вала-шестерни. Конструкция детали в основном отработана на технологичность, обладает высокой жесткостью, обеспечивает свободный доступ инструмента к обрабатываемым поверхностям, что позволяет использовать при обработке многоинструментные наладки и высокопроизводительные режимы резания. Опорные шейки вала-шестерни обрабатывают на шлифовальных станках (с наклонным шлифовальным кругом), обеспечивающих высокую точность расположения торцов 4 и 10 (см. рис. 14.1) к поверхностям опорных шеек и снижение трудоемкости операций за счет одновременной обработки этих поверхностей. Заданные чертежом точность размеров поверхностей, их относительного расположения и параметры качества поверхностного слоя могут быть достаточно экономично обеспечены традиционными методами обработки.

Вместе с тем, предусмотренная чертежом форма шпоночного паза нетехнологична, так как требует обработки малопродуктивным методом – многопроходным фрезерованием концевой фрезой. Очевидно, что без ущерба для прочности вала форму этого паза целесообразно было бы заменить либо на сегментную, либо на полуоткрытую и применить более

производительные дисковые фрезы. Недостаточно технологичной делают конструкцию также различные радиусы переходных поверхностей от опорных шеек к торцам 4 и 10 ($R2^{+1}$ и $R1,6_{\max}$).

Учитывая конфигурацию, размеры вала и крупносерийный характер производства, в качестве исходной выбираем штампованную заготовку нормальной точности. Выбор технологических баз производим исходя из основных принципов базирования. При обработке валов, как правило, в качестве баз используют ось вала и один из торцов. На первой операции эти базы реализуются при установке исходной заготовки в самоцентрирующие призмы (двойная направляющая база) с упором в торце 10 (опорная база). Общая ось двух центровых отверстий, обработанных на этой операции, является постоянной базой для выполнения большинства последующих операций обработки заготовки. Опорные базы в направлении линейных размеров выбираем с учетом характера их простановки на чертеже и возможности совмещения технологических и измерительных баз. Так, на операциях обработки торца 4 в качестве опорной базы целесообразно использовать торец 10, так как от него задаются операционные размеры, а при фрезеровании шпоночного паза 3 – торец 4.

Объем обработки каждой из поверхностей вала-шестерни определим исходя из предъявляемых к ней требований по точности и качеству. Так, общий план обработки наружных поверхностей вращения заготовки может быть принят следующим: черновое обтачивание всех поверхностей, чистовое обтачивание и однократное шлифование после термообработки шеек 11, 2 и торцов 10, 4. Требования к зубьям детали (7-я степень точности и шероховатость $Ra\ 1,25\ \mu\text{м}$) могут быть выполнены зубофрезерованием и шевингованием, однако, учитывая потерю точности и ухудшение шероховатости поверхностей после термической обработки, целесообразно введение операции зубохонингования.

Тип производства и конфигурация детали определяют выбор оборудования, которое должно обеспечить высокопроизводительную обработку и автоматическое получение заданной точности путем настройки. В наибольшей степени при заданных условиях этим требованиям удовлетворяют фрезерно-центровальные, гидроконтрольные, шпоночно-фрезерные, зубофрезерные, зубошевинговальные и торцекруглошлифовальные полуавтоматы. Разработанный маршрут обработки вала-шестерни представлен в табл. 14.2.

Таблица 14.2

Технологический маршрут обработки вала-шестерни (к задаче-примеру)

№ операции	Наименование и краткое содержание операций	Технологическая база	Оборудование
1	<i>Фрезерно-центровальная</i> Фрезеровать торцы 1 и 13 (см. рис. 14.1). Зацентрировать с двух сторон	Ось и торец исходной заготовки	Фрезерно-центровальный полуавтомат МР73М
2	<i>Токарно-копировальная</i> Точить поверхности 11, 12, 5, фаски, подрезать торец 10	Ось и торец 1	Токарный копировальный полуавтомат 1Н713
3	<i>Токарно-копировальная</i> Точить поверхность 2, фаски, подрезать торцы 4 и 7, прорезать канавку 8	Ось и торец 10	Токарный копировальный полуавтомат 1Н713

4	<i>Токарно-копировальная</i> Точить под шлифование поверхность 11 и подрезать торец 10	Ось и торец 4	Токарный копировальный полуавтомат 1Н713
5	<i>Токарно-копировальная</i> Точить под шлифование поверхность 2 и подрезать торец 4	Ось и торец 10	Токарный копировальный полуавтомат 1Н713
6	<i>Шпоночно-фрезерная</i> Фрезеровать шпоночный паз 3	Поверхности 2, 11 и торец 4	Шпоночно-фрезерный 6Д91
7	<i>Зубофрезерная</i> Фрезеровать зубья 6	Ось вала	Зубофрезерный полуавтомат 5В312
8	<i>Зубошевинговальная</i> Шевинговать зубья 6	То же	Зубошевинговальный 5702
9	<i>Контрольная</i>	—	—
10	<i>Термическая</i> Калить и отпустить до HRC ₃ 40... 45	—	—
11	<i>Зубохонинговальная</i> Хонинговать зубья 6	Ось вала	Зубохонинговальный 5А913
12	<i>Круглошлифовальная</i> Шлифовать одновременно поверхности 10 и 11, выдерживая R1,6 _{max}	Ось и торец 4	Торцекруглошлифовальный 3Т161А
13	<i>Круглошлифовальная</i> Шлифовать одновременно поверхности 2, 4, выдерживая R2	Ось и торец 10	Торцекруглошлифовальный 3Т161А
14	<i>Контрольная</i>	—	—

14.2. Расчет режимов обработки

Методика назначения режимов резания для различных методов обработки подробно изложена в справочной литературе. При этом наиболее выгодными считаются такие режимы обработки, которые обеспечивают наименьшую себестоимость механической обработки при удовлетворении всех требований к качеству продукции и производительности обработки.

В общем случае необходимо соблюдать определенную последовательность назначения режимов резания, которая включает:

$$t \rightarrow S \rightarrow v \rightarrow n$$

а) Выбор глубины резания t (мм) по условию удаления припуска под обработку за один рабочий ход, но в зависимости от требований по точно-

сти и шероховатости, предъявляемых к обработанной поверхности, припуск разделяют по стадиям обработки: предварительная, окончательная и отделочная.

Определение глубины резания за один рабочий ход.

При обработке поверхностей тел вращения

$$t = 0,5/(D_i - D_{i-1}). \quad (14.1)$$

При односторонней обработке плоских поверхностей

$$t = H_i - H_{i-1}, \quad (14.2)$$

где D_i и H_i – соответственно диаметр и линейный размер после обработки; D_{i-1} и H_{i-1} – соответственно диаметр и линейный размер до обработки.

б) *Выбор подачи на один оборот* – S_O (мм/об) или *подачи на один зуб* (для многозубных инструментов) – S_Z (мм/зуб).

При черновой обработке выбирают максимально возможную подачу с учетом следующих ограничений: прочности механизмов привода и подачи станка; прочности инструмента; прочности заготовки; жесткости и прочности технологической системы. Мощность станка, как правило, не ограничивает подачу: при недостатке мощности в большинстве случаев следует снижать не подачу, а скорость.

При чистовой обработке подачу выбирают в зависимости от требований к точности и шероховатости поверхностей.

в) *Определение скорости резания* v_P (м/мин) с учетом выбранных t , S , свойств обрабатываемого и режущего материалов, геометрии и стойкости инструмента осуществляется по эмпирическим зависимостям, имеющим общий вид

$$v_P = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} k_v, \quad (14.3)$$

где C_v , m , x , y – коэффициенты, учитывающие вид обработки, k_v – коэффициент, учитывающий конкретные условия обработки, T – стойкость инструмента.

Наиболее выгодные периоды стойкости принимаются по нормативам с учетом сложности изготовления и наладки инструментов.

г) *Определение частоты вращения* n , (мин^{-1}), или числа двойных ходов заготовки или инструмента

$$n_p = 1000 v_p / (\pi D). \quad (14.4)$$

По паспортным данным станка определяют n , близкую к расчетной n_p . При отсутствии этих данных ряд частот вращения можно определить, исходя из справочной литературы (например, по зависимости)

$$n_{np} = n_{\min} \cdot \Phi^{x-1}, \quad (14.5)$$

где n_{np} – принимаемая (ближайшая меньшая) частота вращения;

n_{\min} – минимальная частота для данного станка;

Φ – знаменатель ряда геометрической прогрессии, условно принимаемый равным 1,26;

x – номер ступени, на которой обеспечивается равенство (5).

После назначения частоты вращения шпинделя определяют минутную подачу $S_{\min} = S_{об} \cdot n_{np}$ (мм/мин).

14.3. Нормирование затрат труда на выполнение операции

Одним из основных требований при проектировании технологической операции является требование минимума затрат труда при ее выполнении. Критерием оценки трудоемкости является норма штучно-калькуляционного ($T_{ш.к.}$) или штучного ($T_{шт.}$ – для массового производства) времени, мин:

$$T_{ш.к.} = T_{шт.} + T_{н.з.}/n_3, \quad (14.6)$$

где $T_{н.з.}$ – подготовительно-заключительное время (мин) на партию запуска заготовок в производство, n_3 .

$$T_{шт.} = T_o + T_г + T_{обс} + T_n, \quad (14.7)$$

где T_o – основное (технологическое) время, $T_г$ – вспомогательное время, $T_{обс}$ – время обслуживания рабочего места, T_n – время перерывов в работе.

Основное время обработки T_o определяется расчетом после установления режимов резания по уравнению

$$T_o = L_p i / S_m, \quad (14.8)$$

где L_p – расчетная длина рабочего хода инструмента, мм; i – число рабочих ходов в переходе; S_m – минутная подача инструмента (или заготовки) в направлении подачи, мм/мин.

Для различных видов обработки расчетная длина рабочего хода, мм:

$$L_p = l_o + l_{гп} + l_{сх}, \quad (14.9)$$

где l_o – длина обрабатываемой поверхности (в направлении подачи), $l_{вп}$ и $l_{сх}$ – длина врезания и отхода инструмента. Основное время T_o на выполнение операции зависит от схемы ее построения. Так, при последовательном выполнении переходов в одноместных операциях основное время является суммой времени выполнения всех переходов

$$T_o = \sum_1^n T_{oi} \cdot \quad (14.10)$$

При параллельной схеме обработки основное время выполнения операции определяется длительностью наиболее продолжительного (лимитирующего) перехода $T_{ол}$, т. е.

$$T_o = T_{ол} \cdot \quad (14.11)$$

При параллельно-последовательной схеме основное время включает сумму последовательно выполняемых в позициях лимитирующих переходов:

$$T_o = \sum_n^1 T_{ол} \cdot \quad (14.12)$$

Для многоместных схем обработки основное время сокращается в среднем в N раз (N – число одновременно обрабатываемых заготовок).

Вспомогательное время $T_в$ операций типовых по структуре и технологической оснащённости, выполняемых на универсальных станках в серийном производстве определяют из выражения

$$T_в = T_{yc} + T_{пер} + T_{изм} \cdot \quad (14.13)$$

где T_{yc} – время установки и снятия заготовки, $T_{пер}$ – время, связанное с выполнением перехода (или операции).

Элементы вспомогательного времени определяются по справочникам. По справочной литературе также находятся данные для определения остальных составляющих штучно-калькуляционного времени ($T_{обс}$, T_n , $T_{н.з}$).

14.4. Теоретические вопросы по курсу «Технология машиностроения (производство машин)», часть 1

1. Машиностроение, как ведущая отрасль промышленного производства.
2. Производственный состав машиностроительного предприятия.
3. Общий обзор применяемых видов обработки деталей машин.

4. Основные факторы, определяющие выбор типа и особенностей технологического процесса механической обработки.
5. Исходные данные и последовательность технологических расчетов.
6. Выбор технологической схемы обработки.
7. Правка заготовок.
8. Обдирка прутков.
9. Разрезание прутков, валов, труб и листов.
10. Центрование.
11. Классификация деталей – тел вращения и виды их обработки.
12. Обработка на токарных многолезцовых станках и станках с копирующими устройствами.
13. Виды и методы чистовой отделочной обработки наружных цилиндрических поверхностей.
14. Виды отверстий и способы их обработки.
15. Обработка на сверлильных станках.
16. Обработка на расточных станках.
17. Обработка на шлифовальных станках.
18. Обработка на протяжных станках.
19. Отделочные виды обработки отверстий.
20. Виды резьб и резьбовой инструмент.
21. Нарезание резьбы резцами и гребенками.
22. Нарезание многозаходных резьб.
23. Нарезание резьбы вращающимися резцами (вихревым методом).
24. Нарезание резьбы плашками и самораскрывающимися резьбонарезными головками.
25. Фрезерование резьбы.
26. Нарезание внутренней резьбы метчиками.
27. Шлифование резьбы.
28. Накатывание резьбы.
29. Применение различных методов нарезания резьбы.
30. Методы контроля резьбы.
31. Технологические предпосылки выбора метода обработки плоских поверхностей.
32. Обработка на строгальных и долбежных станках.
33. Обработка на фрезерных станках.
34. Обработка на шлифовальных станках.
35. Обработка на протяжных станках.
36. Виды сложных поверхностей и их классификация.

37. Методы обработки сложных поверхностей.
38. Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес методом копирования дисковыми и пальцевыми фрезами.
39. Нарезание зубьев зубчатых колес методом обкатки.
40. Нарезание цилиндрических зубчатых колес методом зуботочения.
41. Обработка червяков.
42. Протягивание зубьев зубчатых колес.
43. Нарезание зубьев конических зубчатых колес.
44. Закругление зубьев зубчатых колес.
45. Накатывание зубьев зубчатых колес.
46. Способы чистовой отделки зубьев зубчатых колес.
47. Шлифование зубьев зубчатых колес.
48. Притирка зубьев зубчатых колес и рекомендации по выбору способов чистовой отделки зубьев зубчатых колес.
49. Методы контроля обработки зубьев зубчатых колес.
50. Виды и назначение шлицевых соединений.
51. Методы обработки элементов шлицевых валов и втулок.
52. Обработка на револьверных станках.
53. Обработка на токарно-карусельных и токарно-лобовых станках.
54. Технологические процессы комплексной обработки поверхностей деталей на токарно-револьверных станках.
55. Технологические процессы комплексной обработки поверхностей деталей на токарных полуавтоматах.
56. Технологические процессы комплексной обработки поверхностей деталей на токарных автоматах.
57. Обработка металла давлением в холодном состоянии.
58. Классификация методов электрофизикохимической обработки (ЭФХКО).
59. Сущность и общие характеристики электрофизических методов обработки.
 60. Электроэрозионная обработка.
 61. Лазерная обработка.
 62. Электроннолучевая обработка.
 63. Плазменная обработка.
 64. Ультразвуковая обработка.
 65. Электрохимическая обработка.
 66. Комбинированные методы обработки.

14.5. Требования к выполнению и оформлению контрольной работы

Задание для выполнения контрольной работы выдается преподавателем

Контрольная работа состоит из двух разделов.

Первый раздел: приобретение навыков рационального решения вопросов построения общего плана (маршрута) обработки. Раздел включает в себя выбор последовательности выполнения технологических операций (или уточнение последовательности по типовому или групповому процессу) с определением содержания операций, выбором оборудования и технологической оснастки для их выполнения. Изучение общих принципов построения маршрута механической обработки, характерных для всех классов обрабатываемых деталей. Расчет режимов обработки. Нормирование затрат труда на выполнение операции.

Второй раздел: изложение полученных знаний по основным разделам курса. Излагаемый материал должен сопровождаться рисунками, схемами, эскизами, блок-схемами и т. п.

Раздел включает в себя один теоретический вопрос. Объем излагаемого материала не менее 5-ти страниц формата А4. В ответах не допускается поверхностного изложения и дословного заимствования текста используемых литературных источников. Ссылка на используемые литературные источники обязательна.

Контрольная работа должна быть написана разборчиво, грамотно, понятным языком. Не допускается сокращения слов и дословного заимствования текста из используемых литературных источников. Ссылка на используемый литературный источник обязательна. Текстовую часть, расчеты и эскизы следует выполнять на одной стороне листа писчей бумаги формата А4. Размеры полей: левое 30 мм, правое 15 мм, нижнее 20, верхнее 25. Страницы нумеруются в верхнем поле листа по центру. Графическую часть контрольной работы следует выполнять в соответствии с требованиями ЕСКД и ЕСТД. Таблицы, рисунки, схемы и т. п. должны быть пронумерованы в соответствии с номерами разделов и подразделов. В конце работы приводится список использованных литературных источников в соответствии с требованиями ГОСТ. В список литературных источников включаются только те источники, которые были использованы при выполнении контрольной работы. Образец выполнения титульного листа представлен в приложении. Контрольная работа выполняется в сроки, установленные учебным планом. При несоблюдении требований к содержанию и оформлению контрольная работа не допускается к защите и возвращается на переработку.

**15. ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ПО КУРСУ
«ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
(производство машин)»**

ЧАСТЬ 1

1. Машиностроение как ведущая отрасль промышленного производства.
2. Производственный состав машиностроительного предприятия.
3. Основные факторы, определяющие выбор типа и особенностей технологического процесса механической обработки.
4. Исходные данные и последовательность технологических расчетов
5. Выбор технологической схемы обработки.
6. Правка заготовок. Обдирка прутков. Разрезание прутков, валов, труб и листов. Центрование.
7. Классификация деталей - тел вращения и виды их обработки.
8. Обработка на токарных многолезцовых станках и станках с копировальными устройствами.
9. Виды и методы чистовой отделочной обработки наружных цилиндрических поверхностей.
10. Виды отверстий и способы их обработки.
11. Обработка на сверлильных станках.
12. Обработка на расточных станках.
13. Обработка на шлифовальных станках.
14. Обработка на протяжных станках.
15. Отделочные виды обработки отверстий.
16. Виды резьб и резьбовой инструмент.
17. Нарезание резьбы резцами и гребенками.
18. Нарезание многозаходных резьб.
19. Нарезание резьбы вращающимися резцами (вихревым методом).
20. Нарезание резьбы плашками и самораскрывающимися резьбонарезными головками.
21. Фрезерование резьбы.
22. Нарезание внутренней резьбы метчиками.
23. Шлифование резьбы.
24. Накатывание резьбы.
25. Применение различных методов нарезания резьбы.
26. Методы контроля резьбы.
27. Технологические предпосылки выбора метода обработки плоских поверхностей.
28. Обработка на строгальных и долбежных станках.

29. Обработка на фрезерных станках.
30. Обработка на шлифовальных станках.
31. Обработка на протяжных станках.
32. Виды сложных поверхностей и их классификация.
33. Методы обработки сложных поверхностей.
34. Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес методом копирования дисковыми и пальцевыми фрезами.
35. Нарезание зубьев зубчатых колес методом обкатки.
36. Нарезание цилиндрических зубчатых колес методом зуботочения.
37. Обработка червяков.
38. Протягивание зубьев зубчатых колес.
39. Нарезание зубьев конических зубчатых колес.
40. Закругление зубьев зубчатых колес.
41. Накатывание зубьев зубчатых колес.
42. Способы чистовой отделки зубьев зубчатых колес.
43. Шлифование зубьев зубчатых колес.
44. Притирка зубьев зубчатых колес и рекомендации по выбору способов чистовой отделки зубьев зубчатых колес.
45. Методы контроля обработки зубьев зубчатых колес.
46. Виды и назначение шлицевых соединений.
47. Методы обработки элементов шлицевых валов и втулок.
48. Обработка на револьверных станках.
49. Обработка на токарно-карусельных и токарно-лобовых станках.
50. Технологические процессы комплексной обработки поверхностей деталей на токарно-револьверных станках.
51. Технологические процессы комплексной обработки поверхностей деталей на токарных полуавтоматах.
52. Технологические процессы комплексной обработки поверхностей деталей на токарных автоматах.
53. Обработка металла давлением в холодном состоянии.
54. Классификация методов электрофизикохимической обработки (ЭФХКО).
55. Сущность и общие характеристики электрофизических методов обработки.
56. Электроэрозионная обработка. Лазерная обработка.
57. Электроннолучевая обработка. Плазменная обработка.
58. Ультразвуковая обработка.
59. Электрохимическая обработка.
60. Комбинированные методы обработки.

16. ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

1. Создание изделий без формообразующей оснастки.
2. Перспективные технологии электрофизикохимической и комбинированной обработки.
3. Тенденции развития производства абразивных и сверхтвердых инструментальных материалов.
4. Современные сверхтвердые инструментальные материалы и технологии их получения.
5. Композиционные алмазосодержащие инструментальные материалы. Состав, структура и технология получения.
6. Высокоэффективные процессы финишной обработки.
7. Тенденции развития механической обработки.
8. Чистовая лезвийная обработка.
9. Алмазно-абразивное шлифование.
10. Полирование и хонингование.
11. Финишная обработка плоских поверхностей.
12. Финишная и доводочная обработка прецизионных поверхностей.
13. Отделочно-упрочняющая обработка.
14. Новые конструкции лезвийных инструментов.
15. Новые конструкции алмазно-абразивных инструментов.
16. Методы обработки деталей машин без снятия стружки.
17. Перспективные технологии обработки металлов методами поверхностного пластического деформирования.
18. Высокоскоростная обработка как эффективный способ повышения производительности.
19. Перспективные инструментальные материалы из минералокерамики.
20. Технологии, оборудование и технологическая оснастка для обработки твердых неметаллических материалов.

Реферат выполняется по тематике изучаемого курса, научных хозяйственных работ и фундаментальных исследований, проводимых на кафедре «Технология машиностроения».

Объем реферата составляет 15 – 30 страниц машинописного текста формата А4, размер шрифта 14 пт, интервал 1,5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы технологи важнейших отраслей промышленности / под ред. И.В. Ченцова. – Минск: Выш. шк., 1989. – 352 с.
2. Данилевский, В.В. Технология машиностроения: учеб. для техникумов / В.В. Данилевский. – М.: Высш. шк., 1972. – 544 с.
3. Технология машиностроения / под ред. М.Е. Егорова. – М.: Машиностроение, 1976. – 534 с.
4. Кравец, А.Т. Достижения отечественного станкостроения в области нетрадиционных методов обработки материалов. Обзор / А.Т. Кравец, Б.Х. Мечетнер. – М.: НИИмаш, 1992.
5. Проектирование технологических процессов в машиностроении: учеб. пособие для вузов; под. общ. ред. И.П. Филонова; + CD. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 910 с.
6. Пашкевич М.Н. и др. Технологическая оснастка / М.Н. Пашкевич, Ж.А. Мрочек. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002.
7. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т. 1 / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 2001.
8. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т. 2 / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 2001.
9. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т. 3. / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 2001.
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 912 с.
11. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 944 с.
12. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / под общ. ред. А.А. Панаева. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
13. Марочник сталей и сплавов / под ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
14. Маслов, А.Р. Приспособление для металлообрабатывающего инструмента. Справочник. Библиотека инструментальщика / А.Р. Маслов. – М.: Машиностроение, 2002. – 256 с.
15. Суслов, А.Г. Технология машиностроения: учеб. / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2003. – 400 с.
16. Суслов, А.Г. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Суслов, А.М. Дальский. – М.: Машиностроение 2002. – 684 с.

17. Технология конструкционных материалов: учеб. / под ред. А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.
18. Технологические основы управления качеством машин. Библиотека технолога / А.С. Васильев [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 256 с.
19. Баранчиков, В.И. Обработка специальных материалов в машиностроении: справочник. Библиотека технолога / В.И. Баранчиков, А.С. Тарапанов. – М.: Машиностроение, 2002. – 264 с.
20. Восстановление деталей машин: справочник / под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672. с.
21. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
22. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.
23. Обеспечение безопасности жизнедеятельности в машиностроении: учеб. пособие / В.Г. Еремин [и др.]. – М.: Машиностроение, 2002 – 400 с.
24. Справочник слесаря-монтажника технологического оборудования / под общ. ред. П.П. Алексеенко и Л.А. Григорьева. – М.: Машиностроение, 2003. – 304 с.
25. Васильев, В.С. Электрофизико-химические методы размерной обработки (состояние, задачи, перспективы) // Станки и инструмент, 1977. – № 9 – С. 3 – 4.
26. Вероман, В.Ю. Ультразвуковая обработка материалов / В.Ю. Вероман, А.Б. Аренков; под ред. Л.Я. Попилова. – Л.: Машиностроение, 1971. – 67 с.
27. Голованов, Л.В. Соперники резца / Л.В. Голованов. – М.: Машиностроение, 1973. – 144 с.
28. Коваленко, В.С. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / В.С. Коваленко. – Киев: Вища школа, 1975. – 233 с.
29. Лазаренко, Б.Р. Электрические способы обработки металлов и их применение в машиностроении / Б.Р. Лазаренко. – М.: Машиностроение, 1978. – 40 с.
30. Лившиц, А.Л. Электрофизико-химические и традиционные методы размерной обработки / А.Л. Лившиц, Ю.С. Волков // Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: Материалы семинара. – М.: МДНТП, 1975. – С. 12 – 20.
31. Новое в электрофизической и электрохимической обработке материалов / под ред. Л.Я. Попилова. – Л.: Машиностроение, 1972.
32. Опыт применения совмещенных электрофизико-химических методов обработки в промышленности: материалы семинаров. – Л.: ЛДНТП, 1978.– 94 с.

33. Попилов, Л.Я. И светом, и взрывом, и звуком ... / Л.Я. Попилов. – Л.: Лениздат, 1971. – 146 с.
34. МАШИНОСТРОЕНИЕ. ЭНЦИКЛОПЕДИЯ: Технология заготовительных производств. Т. III-2 / под ред. В.Ф. Мануйлова. – М.: Машиностроение, 1996. – 736 с.
35. МАШИНОСТРОЕНИЕ. ЭНЦИКЛОПЕДИЯ: Технология изготовления деталей машин. Т. III-3 / под ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2002. – 840 с.
36. МАШИНОСТРОЕНИЕ. ЭНЦИКЛОПЕДИЯ: Технология сборки в машиностроении. Т. III-5 / под ред. Ю.М. Соломенцова. – М.: Машиностроение, 2001. – 640 с.
37. МАШИНОСТРОЕНИЕ. ЭНЦИКЛОПЕДИЯ: Измерения. контроль, испытания и диагностика. Т. III-7 / под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 2001. – 464 с.
38. МАШИНОСТРОЕНИЕ. ЭНЦИКЛОПЕДИЯ: Стандартизация и сертификация в машиностроении. Т. I-5 / под ред. Г.П. Воронина. – М.: Машиностроение, 2000. – 655 с.
39. МАШИНОСТРОЕНИЕ. ЭНЦИКЛОПЕДИЯ: Стали. Чугуны. Т. II-2 / под ред. О.А. Банных и Н.Н. Александрова. – М.: Машиностроение, 2001. – 781 с.
40. МАШИНОСТРОЕНИЕ. ЭНЦИКЛОПЕДИЯ: Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка. Т. IV-1 / под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1995. – 864 с.
41. МАШИНОСТРОЕНИЕ. ЭНЦИКЛОПЕДИЯ: Металлорежущие станки и деревообрабатывающее оборудование. Т. IV-7 / под ред. Б.И. Черпакова. – М.: Машиностроение, 2002. – 864 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВЕДЕНИЕ	3
РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА УСПЕВАЕМОСТИ	4
КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ	5
1. МАШИНОСТРОЕНИЕ, КАК ВЕДУЩАЯ ОТРАСЛЬ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	6
1.1. Производственный состав машиностроительного предприятия	9
1.2. Общий обзор применяемых видов обработки деталей машин	11
1.3. Основные факторы, определяющие выбор типа и особенностей технологического процесса механической обработки	13
1.4. Исходные данные и последовательность технологических расчетов	13
1.5. Выбор технологической схемы обработки	18
2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК	22
2.1. Правка заготовок	22
2.2. Обдирка прутков	23
2.3. Разрезание прутков, валов, труб и листов	23
2.4. Центрование	27
3. ОБРАБОТКА НАРУЖНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ (ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ)	32
3.1. Классификация деталей - тел вращения и виды их обработки	32
3.2. Обработка на токарных многорезцовых станках и станках с копировальными устройствами	34
3.3. Виды и методы чистовой отделочной обработки наружных цилиндрических поверхностей	42
4. ОБРАБОТКА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ (ОТВЕРСТИЯ)	55
4.1. Виды отверстий и способы их обработки	55
4.2. Обработка на сверлильных станках	56
4.3. Обработка на расточных станках	64
4.4. Обработка на шлифовальных станках	66
4.5. Обработка на протяжных станках	68
4.6. Отделочные виды обработки отверстий	71
5. ОБРАБОТКА РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	74
5.1. Виды резьб и резьбовой инструмент	74
5.2. Нарезание резьбы резцами и гребенками	74
5.3. Нарезание многозаходных резьб	79
5.4. Нарезание резьбы вращающимися резцами (вихревым методом)	82
5.5. Нарезание резьбы плашками и самораскрывающимися резьбонарезными головками	84
5.6. Фрезерование резьбы	85
5.7. Нарезание внутренней резьбы метчиками	87
5.8. Шлифование резьбы	90
5.9. Накатывание резьбы	94
5.10. Применение различных методов нарезания резьбы	94
5.11. Методы контроля резьбы	95
6. ОБРАБОТКА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	96
6.1. Технологические предпосылки выбора метода обработки плоских поверхностей	96

6.2. Обработка на строгальных и долбежных станках	100
6.3. Обработка на фрезерных станках	102
6.4. Обработка на шлифовальных станках	107
6.5. Обработка на протяжных станках	108
7. ОБРАБОТКА СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	111
7.1. Виды сложных поверхностей и их классификация	111
7.2. Методы обработки сложных поверхностей	112
8. ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	125
8.1. Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес методом копирования дисковыми и пальцевыми фрезами	125
8.2. Нарезание зубьев зубчатых колес методом обкатки	128
8.3. Нарезание цилиндрических зубчатых колес методом зуботочения	138
8.4. Обработка червяков	139
8.5. Протягивание зубьев зубчатых колес	145
8.6. Нарезание зубьев конических зубчатых колес	146
8.7. Закругление зубьев зубчатых колес	153
8.8. Накатывание зубьев зубчатых колес	153
8.9. Способы чистовой отделки зубьев зубчатых колес	156
8.10. Шлифование зубьев зубчатых колес	163
8.11. Притирка зубьев зубчатых колес и рекомендации по выбору способов чистовой отделки зубьев зубчатых колес	168
8.12. Методы контроля обработки зубьев зубчатых колес	170
9. ОБРАБОТКА ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	173
9.1. Виды и назначение шлицевых соединений	173
9.2. Методы обработки элементов шлицевых валов и втулок	175
10. ОБРАБОТКА НА РЕВОЛЬВЕРНЫХ И КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКАХ	180
10.1. Обработка на револьверных станках	180
10.2. Обработка на токарно-карусельных и токарно-лобовых станках	183
11. КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА НАРУЖНЫХ И ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ	185
11.1. Технологические процессы комплексной обработки поверхностей деталей на токарно-револьверных станках	185
11.2. Технологические процессы комплексной обработки поверхностей деталей на токарных полуавтоматах	191
11.3. Технологические процессы комплексной обработки поверхностей деталей на токарных автоматах	195
12. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛА ДАВЛЕНИЕМ В ХОЛОДНОМ СОСТОЯНИИ	204
13. МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОФИЗИКОХИМИЧЕСКОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ (ЭФХКО)	215
13.1. Классификация методов ЭФХКО	217
13.2. Сущность и общие характеристики электрофизических методов обработки	219
13.3. Электроэрозионная обработка	220
13.4. Лазерная обработка	223
13.5. Электроннолучевая обработка	225
13.6. Плазменная обработка	225
13.7. Ультразвуковая обработка	226
13.8. Электрохимическая обработка	227
13.9. Комбинированные методы обработки	228

14. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ (для студентов заочной формы обучения)	231
14.1. Разработка технологических операций. Выбор последовательности переходов в операции и средств их технологического оснащения	231
14.2. Расчет режимов обработки	237
14.3. Нормирование затрат труда на выполнение операции	239
14.4. Теоретические вопросы	240
14.5. Требования к выполнению и оформлению контрольной работы	243
15. ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	244
16. ТЕМЫ РЕФЕРТОВ	246
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	247

Учебное издание

**ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
(ПРОИЗВОДСТВО МАШИН)**

В 3-х частях

Часть 1

Составители:

ЛЫСОВ Александр Аркадьевич
АРШИКОВ Александр Сергеевич

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
для студентов специальности 36 01 01
«Технология машиностроения»

Редактор *А. Э. Цибульская*

Дизайн обложки *И. С. Васильевой*

Подписано в печать 8.10.2007. Формат 60х84. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 14,62. Уч.-изд. л. 14,05. Тираж 125 экз. Заказ 1507.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ № 02330/0133020 от 30.04.04

ЛП № 02330/0133128 от 27.05.04

211440 г. Новополоцк, ул. Блохина, 29