658.58
О-64

Профессиональное образование

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ МОНТАЖА И РЕМОНТА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В двух частях

Часть 1

Учебник

Профессиональный модуль



ACADEMIA

638.38
О-64

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ МОНТАЖА И РЕМОНТА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УЧЕБНИК

В ДВУХ ЧАСТЯХ

Часть 1

98466

Рекомендовано
Федеральным государственным автономным учреждением
«Федеральный институт развития образования»
в качестве учебника для использования
в учебном процессе образовательных организаций,
реализующих программы среднего профессионального
образования по специальности «Монтаж и техническая
эксплуатация промышленного оборудования»

Регистрационный номер рецензии 68
от 18 марта 2016 г. ФГАУ «ФИРО»

ACADEM'A

Москва
Издательский центр «Академия»
2016

УДК 658.58(075.32)
ББК 30.8я723
О-641

Рецензент —
преподаватель ГБОУ СПО МО «Мытищинский машиностроительный колледж»
В. А. Базлов

98466

О-641 **Организация** и проведение монтажа и ремонта промышленного оборудования : в 2 ч. — Ч. 1: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / [А. Г. Схиртладзе, А. Н. Феофанов, В. Г. Митрофанов и др.]. — М. : Издательский центр «Академия», 2016. — 272 с.
ISBN 978-5-4468-2347-5

Учебник создан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования по специальности «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования», ПМ.01 «Организация и проведение монтажа и ремонта промышленного оборудования».

Рассмотрены основные аспекты организации монтажа, его выполнения, технологического обслуживания и ремонта промышленного оборудования современных предприятий.

В части 1 приведены основные сведения о машинах, их деталях и механизмах, классификация металлорежущих станков и их характеристики. Раскрыты сущность, характер и признаки износа, способы восстановления и повышения долговечности деталей и механизмов промышленного оборудования, ремонт его неподвижных соединений.

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 658.58(075.32)
ББК 30.8я723

Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается

ISBN 978-5-4468-2347-5 (ч. 1)
ISBN 978-5-4468-2348-2

© Коллектив авторов, 2016
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2016
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2016

Уважаемый читатель!

Данный учебник является частью учебно-методического комплекта по специальности «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования».

Учебник предназначен для изучения профессионального модуля «Организация и проведение монтажа и ремонта промышленного оборудования».

Учебно-методические комплекты нового поколения включают в себя традиционные и инновационные учебные материалы, позволяющие обеспечить изучение общеобразовательных и общепрофессиональных дисциплин и профессиональных модулей. Каждый комплект содержит учебники и учебные пособия, средства обучения и контроля, необходимые для освоения общих и профессиональных компетенций, в том числе и с учетом требований работодателя.

98466

Учебные издания дополняются электронными образовательными ресурсами. Электронные ресурсы содержат теоретические и практические модули с интерактивными упражнениями и тренажерами, содержат мультимедийные объекты, ссылки на дополнительные материалы и ресурсы в Интернете. В них включены терминологический словарь и электронный журнал, в котором фиксируются основные параметры учебного процесса: время работы, результат выполнения контрольных и практических заданий. Электронные ресурсы легко встраиваются в учебный процесс и могут быть адаптированы к различным учебным программам.

Предисловие

Современное машиностроительное производство — это комплекс взаимосвязанных научно-технических проблем, в котором ремонту и восстановлению технологического оборудования придается большое значение. Своевременное разрешение этих проблем является большим резервом экономии машиностроительных ресурсов всех предприятий и государства в целом.

Технологические возможности методов восстановления и ремонта позволяют быстро и качественно подготовить к эксплуатации различное оборудование, сэкономить время и средства, что непременно отразится на себестоимости конечной продукции. Эффективность такого подхода особенно проявляется в условиях небольших объемов производства, что в настоящий период актуально.

В учебнике отражены последние достижения в области технологического обслуживания, ремонта и восстановления машин. В первых двух главах учебника даны теоретические основы ремонта и обслуживания машин. Это относится к выявлению основных характеристик и закономерностей изнашивания деталей машин, методам оценки их износа, методам восстановления посадок в сопряжениях, размерному анализу и точности технологических процессов механической обработки и сборки. В третьей и четвертой главах приведены рекомендации по ремонту и восстановлению наиболее распространенных деталей и механизмов общего машиностроения.

Многообразие современных методов восстановления деталей, таких как металлизация напылением, электромеханические и химические покрытия, технология нанесения на деталь полимерных покрытий и других методов дает возможность технологу выбрать наиболее качественный технический процесс и обеспечить экономический эффект. В учебнике также рассмотрены вопросы, связанные с подготовкой ремонтного производства, его технологического обслуживания, резервов увеличения эффективности и модернизации производства.

Глава 1

ПОНЯТИЕ О МАШИНАХ, ДЕТАЛЯХ МАШИН И МЕХАНИЗМАХ

1.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Машины и механизмы состоят из сотен и нередко тысяч различных деталей. Так, например, в простейшей углепогрузочной машине более 3 тыс. деталей, автомобиле (включая двигатель) около 16 тыс. деталей, карусельно-токарном станке с диаметром обработки до 13 м более 20 тыс. деталей, немецкой ракете-снаряде времен Второй мировой войны «Фау-2» около 30 тыс. деталей, гидротурбине гидроэлектростанции 50 тыс. деталей, а рельсобалочный стан собирается более чем из 1,5 млн деталей 400 тыс. наименований.

Результатом разработки нового изделия является само изделие, которое относится к сфере материальных объектов и служит для удовлетворения требований производства и потребностей человека. Разработка нового изделия — это особый этап, относящийся к умственной деятельности человека. Таким образом, целью проектирования и конструирования является разработка нового изделия, которое не существует или существует в другой форме и имеет иные параметры. Проектирование и конструирование — виды умственной деятельности, при которой у разработчика создается конкретный мыслительный образ. Этот образ подвергается мыслительным экспериментам, включающим перестановку составных частей нового изделия или замену их другими элементами. Одновременно оценивается эффект внесенных изменений и определяется, как эти изменения могут подействовать на окончательный результат. Мысленный образ создается в соответствии с общими правилами проектирования и конструирования и впоследствии принимает окончательный, технически обоснованный вид.

К разработке нового изделия помимо проектирования и конструирования относятся также создание технологии его изготовления,

материально-техническое обеспечение и организация производства. Разработка нового изделия оказывает существенное влияние на все последующие стадии его жизненного цикла: изготовление, обращение, реализацию, эксплуатацию или потребление, разрушение или преобразование и утилизацию.

Понятие «изделие» имеет широкий диапазон значений. Под ***изделием*** подразумеваются все объекты материального производства и их составные части, подлежащие изготовлению на предприятии: машины, технологическое оборудование, механизмы, приборы, функциональные системы и др. Существуют следующие виды изделий: детали, сборочные единицы, комплексы и комплекты.

Деталью называется изделие, изготовленное из материала одной марки без применения сборочных операций или с использованием местных соединительных операций (сварки, пайки, склеивания и т.д.). К простым деталям относятся гайка, шпонка и другие детали, а к сложным — болт, вал, корпус и т.д. Деталь является не специфицированным изделием, так как не имеет составных частей.

Деталью-узлом называется совокупность совместно работающих деталей, представляющих собой конструктивно обособленные единицы и объединенные общим назначением (подшипники качения, муфты и т.д.).

Сборочная единица представляет собой изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе с помощью сборочных операций. Сборочная единица образует разъемное или неразъемное соединение деталей и узлов.

К сборочным единицам относится большинство разрабатываемых и выпускаемых изделий, а также входящих в них составных частей. Например, сборочной единицей является токарный станок, а также входящие в него суппорт, резцедержатель и др. Сборочная единица является специфицированным изделием, так как на него составляется спецификация, включающая в себя все составные части.

Комплекс — изделие, состоящее из нескольких (два или более) специфицированных изделий, предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, не соединяемых на предприятии-изготовителе посредством сборочных операций, например, сборочный конвейер, кран и т.д.

Комплект — несколько (два или более) изделий общего функционального (эксплуатационного) назначения вспомогательного характера, не соединяемых на предприятии-изготовителе с помо-

щью сборочных операций, например, комплекты запасных частей, инструментов, измерительных средств и т.д.

В процессе подготовки производства и изготовления изделия подразделяются на комплектующие, покупные, основного или вспомогательного производства, серийного производства и др.

Иногда определенные изделия называются конструкциями. Для определения этого понятия целесообразно проследить весь процесс создания нового изделия, начиная с зарождения идеи и заканчивая изготовлением действующего образца. Разработка изделия является результатом умственной деятельности человека, в результате которой создается конструкция. ***Конструкция*** определяет взаимное расположение частей изделия и является одним из его основных свойств, позволяющих отличить одно изделие от другого.

Механизм — сочетание деталей (звеньев), предназначенных для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемое движение других тел. В механизме различаются ведущая и ведомая детали. Одно из звеньев механизма, которое передает движение другому, называется ведущим. Звено механизма, которое получает движение от ведущего звена, называются ведомым. Ведущее звено приводится в движение внешней силой (рука, нога, электродвигатель и т.д.), а ведомое звено приходит в движение от ведущего.

Механизмы, предназначенные для передачи движения с преобразованием скорости и крутящего момента, называются ***механизмами передачи движения***. С помощью передач изменяются скорость и направление движения, преобразуется вращательное движение в поступательное и винтовое.

1.2. РЕМЕННЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Фрикционные передачи с гибкой связью, или ***ременные передачи***, — передачи, работающие на использовании сил сцепления между шкивом и гибким телом. Гибким телом является канат, лента, ремень (плоский, клиновой или круглый).

Ременные передачи используются для передачи вращения между валами, располагающимися на относительно большом расстоянии друг от друга.

Достоинства ременных передач:

- высокая плавность хода благодаря демпфирующей способности упругой связи;
- предохранение от перегрузок за счет возможности пробуксовывания;

- простота конструкции и обслуживания;
- низкая стоимость ремня;
- возможность передачи вращения нескольким валам.

Недостатки ременных передач:

- наличие упругого скольжения и непостоянство передаточного отношения;
- обеспечение необходимой величины предварительного натяжения;
- значительные давления на валы;
- малая долговечность при больших скоростях;
- значительные габаритные размеры;
- необходимость предохранять передачу от попадания масла.

Существуют следующие конструкции ременных передач (рис. 1.1): открытая с параллельными осями валов с одинаковым их вращением, перекрестная с параллельными осями валов с противоположным их вращением, полуперекрестная с перекрещивающимися осями валов и угловая с пересекающимися осями валов со вспомогательными направляющими роликами.

Открытая ременная передача выполняется с плоскими, клиновыми и поликлиновыми ремнями, а остальные — только с плоскими.

Материалы ремней в передачах должны отвечать следующим требованиям: быть прочными, износостойкими и долговечными, иметь высокие фрикционные свойства (высокий коэффициент трения), невысокий модуль упругости и хорошую перегрузочную способность. Этим требованиям отвечают кожаные, прорезиненные, пленочные, хлопчатобумажные и шерстяные ремни.

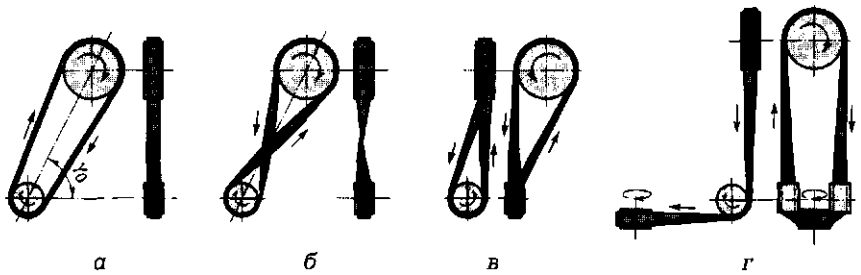


Рис. 1.1. Схемы ременных передач:

а — открытая с параллельными осями валов; *б* — перекрестная с параллельными осями валов; *в* — полуперекрестная; *г* — угловая

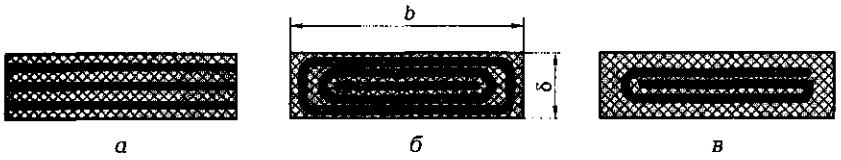


Рис. 1.2. Плоские прорезиненные ремни:

а — нарезные — тип «А»; *б* — послойно завернутые — тип «Б»; *в* — спирально завернутые — тип «В»; *b* — ширина ремня; δ — толщина ремня

К ***плоским ремням*** относятся:

- *кожаные*, обладающие хорошими фрикционными свойствами и высокой нагрузочной способностью. Они хорошо работают в условиях переменных и ударных нагрузок при скоростях до 50 м/с. Недостатком таких ремней является высокая стоимость, ограничивающая их применение;
- *прорезиненные*, которые изготовляются из нескольких слоев прорезиненной хлопчатобумажной ткани (бельтинга), связанной вулканизированной резиной. Эти ремни бывают трех типов: «А» — нарезные, «Б» — послойно завернутые и «В» — спирально завернутые (рис. 1.2).

Ремни типа «А» используются для легких условий работы, а также с равномерной нагрузкой при скоростях до 40 м/с.

Ремни типа «Б» используются для тяжелых условий работы, а также для работы с прерывистой нагрузкой при скоростях до 20 м/с.

Ремни типа «В» применяются редко, обычно при скоростях до 15 м/с.

Прорезиненные ремни изготовляются также со шнуровым кордом;

- *пленочные* (синтетические), которые изготовляются из полиамидов с кордом из капроновых тканей. При малой толщине (0,4...1,2 мм) такие ремни обладают высокой прочностью (в 5... 8 раз больше, чем у прорезиненных ремней) и гибкостью. Для обеспечения высоких фрикционных свойств рабочая поверхность пленочных ремней покрывается каучуком или замшей. Такие ремни работают при скоростях до 60...80 м/с;
- *хлопчатобумажные*, имеющие хлопчатобумажную основу, которая пропитывается борным воском и битумом. Такие ремни обладают высокой гибкостью и нагрузочной способностью, но имеют малую долговечность;
- *шерстяные*, которые изготовляются из шерстяных нитей основы, переплетенных и прошитых хлопчатобумажными нитями. Для

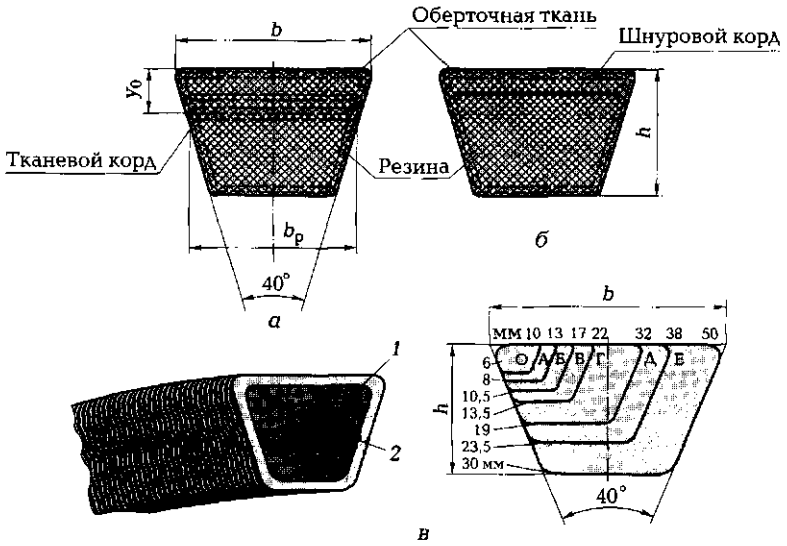


Рис. 1.3. Клиновые ремни:

а — кордтканевые; *б* — кордшнуровые; *в* — типоразмеры; *1* — слой растяжения; *2* — слой сжатия; *b* и *h* — соответственно ширина и высота клинового ремня; y_0 и b_p — соответственно ширина и высота средней линии клинового ремня; О, А, Б, В, Г, Д, Е — нормальное сечение ремней

прочности ремни пропитываются олифой и железным суриком. Они хорошо работают на шкивах малого диаметра при скоростях до 30 м/с.

Передачи с клиновыми ремнями трапециевидного сечения возможны только открытого типа, поскольку эти ремни имеют большую жесткость на скручивание. Клиновые ремни бывают кордтканевые и кордшнуровые (рис. 1.3). Они выпускаются трех типов: нормального сечения, узкие (вентиляторные) и широкие (для вариаторов).

Клиновые ремни выполняются нескольких габаритов:

- ремни нормального сечения: О (Z), А (A), Б (B), В (C), Г (D), Д (E) и Е (EO);
- узкие: УО (SPZ), УА (SPA), УБ (SPB) и УВ (SPC).

Каждый последующий габарит имеет большую площадь сечения (рис. 1.3, *в*). Ремни нормального сечения работают при скоростях до 25 м/с, а узкие ремни — до 40 м/с.

Способы создания предварительного натяжения в ременных передачах:

- посадка ремней на шкивы с натягом;
- относительное перемещение осей шкивов;

- смещение осей шкивов благодаря установке одного из шкивов на качающейся плите;
- применение натяжного ролика;
- применение самонатягивающихся устройств.

1.3. ЦЕПНЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Цепные передачи подразделяются на передачи с втулочно-роликовой (рис. 1.4, *а*) и с зубчатой цепью (рис. 1.4, *б*).

Достоинства цепных передач:

- широкий диапазон межосевых расстояний (до 3 м) и передаточных чисел (до 8);
- возможность работы в широком диапазоне передаваемых нагрузок (до 100 кВт) и скоростей (до 20 м/с);
- отсутствие проскальзывания;
- высокий КПД;
- относительно невысокие нагрузки на валы.

Недостатки цепных передач:

- износ шарниров в цепи и связанная с этим ее вытяжка, а также необходимость применения натяжных устройств;
- значительный шум при работе;

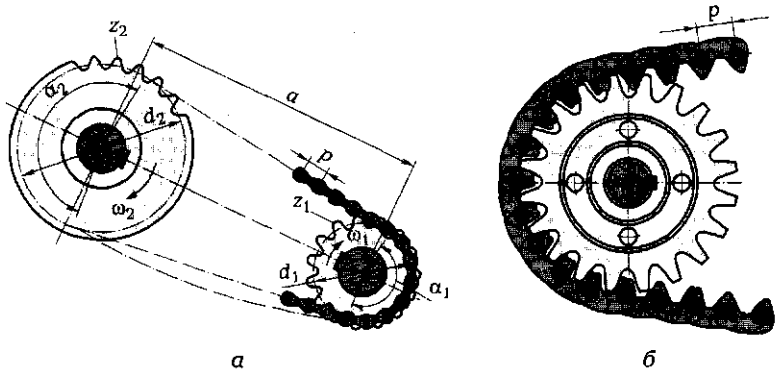


Рис. 1.4. Схема цепной передачи:

а — с втулочно-роликовой цепью; *б* — с зубчатой цепью; *а* — межосевое расстояние; z_1 и z_2 — число зубьев соответственно малой и большой звездочек; ω_1 и ω_2 — скорости вращения соответственно малой и большой звездочек; d_1 и d_2 — средние (делительные) диаметры малой и большой звездочек; p — шаг цепи; α_1 и α_2 — углы обхвата малой и большой звездочек

- непостоянство скорости продольного движения цепи и передаточного числа;
- повышенные требования к условиям эксплуатации (защита, смазка и регулировки).

Конструкции цепей. ***Втулочно-роликовые цепи*** состоят из валиков с напрессованными на них наружными пластинами, втулок с напрессованными внутренними пластинами и роликов, надетыми на втулки. Валик и втулка с напрессованными пластинами образуют жесткие звенья, а гибкость цепи осуществляется за счет относительного проворота валика и втулки, образующих шарнир (рис. 1.5, *а*).

Втулочно-роликовые цепи применяются при скоростях до 15 м/с. Наряду с однорядными изготавливаются двух-, трех- и четырехрядные цепи. Преимуществом втулочно-роликовых цепей по сравнению с втулочными является наличие ролика, благодаря чему трение скольжения между втулкой и зубом звездочки заменяется на трение качения между роликом и зубом. Втулочные цепи используются в основном в неответственных передачах. Профиль звездочек для втулочной и втулочно-роликовой цепи выполняется по ГОСТ 591—69.

При больших скоростях применяются ***зубчатые цепи***. В самой простой конструкции они представляют собой пластины, надеваемые на одну ось (рис. 1.5, *б*). Бывают более сложные по конструкции зубчатые цепи с шарнирами качения (рис. 1.5, *в*).

Материалы цепей. Пластины цепных передач изготавливаются из углеродистых и легированных сталей марок 45, 40Х и 40ХН (твердость 40...50 HRC); валики, втулки и ролики, которые в процессе работы подвергаются износу, — из низкоуглеродистых (цементуемых) сталей марок 20, 15Х, 20Х, 12ХН3А и 18ХГТ (твердость 55...62 HRC), а звездочки — из углеродистых и легированных сталей марок 45, 50 и 40Х, цементуемых сталей марок 20, 15Х и 20Х (твердость 50... 60 HRC) и реже из чугуна (обычного или модифицированного).

Виды разрушения и критерии работоспособности цепей. Для приводных цепей характерны следующие виды предельных состояний:

- износ шарниров (валик — втулка), вызывающий удлинение цепей и, как следствие, нарушение их зацепления с зубьями звездочек. На износ цепей влияют удельное давление в шарнире, скорость цепи, путь трения (число зубьев звездочки), межосевое расстояние, характер смазки и др.;
- усталостное разрушение элементов цепей (роликов и пластин), которое наблюдается в тяжелонагруженных и среднескоростных передачах. Физическим критерием работоспособности цепей

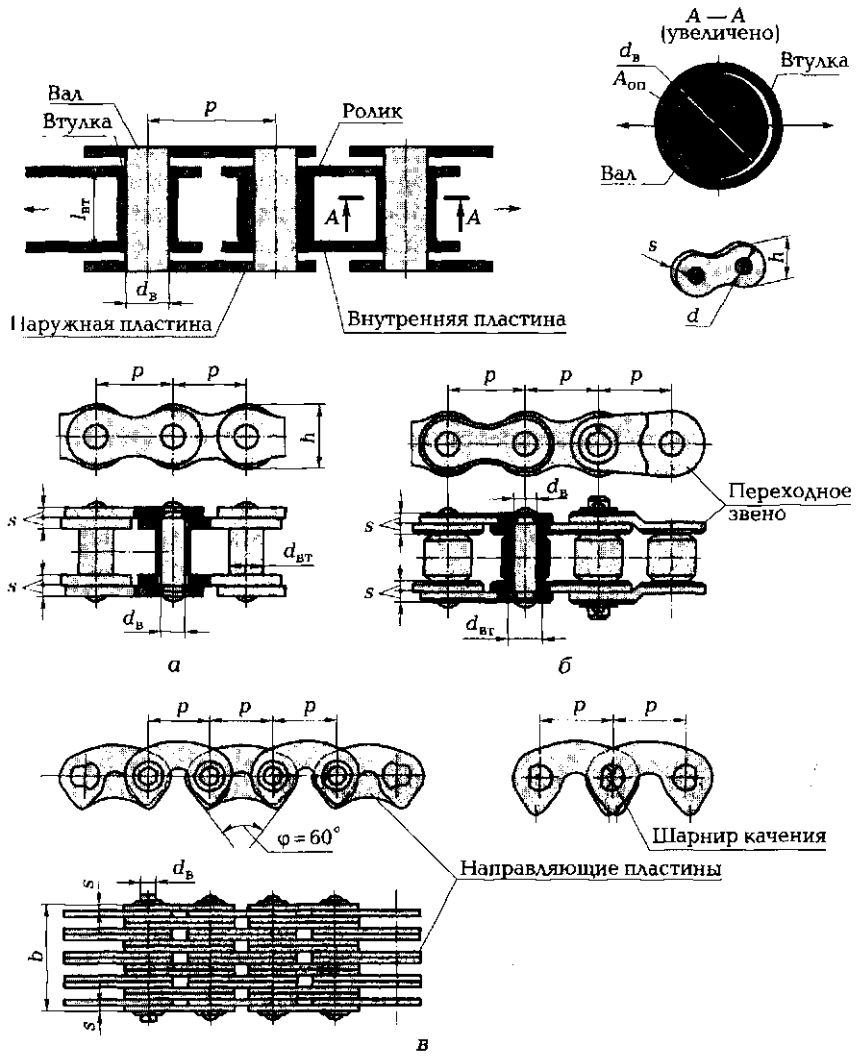


Рис. 1.5. Конструкция цепей:

а — втулочная и втулочно-роликовая; *б* — зубчатая; *в* — с шарнирами качения: *p* — шаг цепи; $l_{вт}$ — длина втулки; $d_в$ и $d_{вт}$ — соответственно диаметры вала и втулки; *s* и *h* — соответственно толщина и высота пластины звена; φ — угол профиля звеньев для конструкции цепи с шарнирами качения; *b* — ширина цепи с шарнирами качения

является сопротивление усталости их элементов из-за действия циклической нагрузки, определяемое экспериментально (ввиду сложности учета всех факторов);

- разрыв цепей из-за недостаточной статической прочности);
- износ зубьев звездочки.

Критерием работоспособности для обильно смазываемых цепей при переменных внешних нагрузках с учетом внутренней динамики передачи является сопротивление усталости элементов цепей. Для средне- и низкоскоростных передач характерно усталостное разрушение пластин по проушинам, при скорости 20 м/с разрушается шарнир, а при более высоких скоростях происходит его заедание. Для таких цепей основной расчет — расчет на сопротивление усталости.

Для тихоходных цепных передач при недостаточной смазке и для быстроходных хорошо смазываемых передач критерием работоспособности является износостойкость шарнира и основным расчетом — расчет на износостойкость.

Смазка цепи. Способ смазки цепи выбирается в зависимости от ее скорости. При скорости цепи до 2...4 м/с используется периодическая смазка, при скорости 4...8 м/с — капельная или пластичная смазка, при скорости 8...10 м/с — смазка окунанием в масляную ванну, а при скорости более 12...15 м/с — смазка циркуляционная струйная на ненагруженную ветвь цепи.

Обеспечение износостойкости и сопротивления усталости цепи выполняется путем оценки удельных давлений.

1.4. ФРИКЦИОННЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Фрикционные передачи осуществляют передачу вращающего момента от ведущего катка к ведомому посредством сил трения (рис. 1.6).

На рис. 1.7 показаны схемы фрикционных передач с цилиндрическими, клинчатыми и коническими катками.

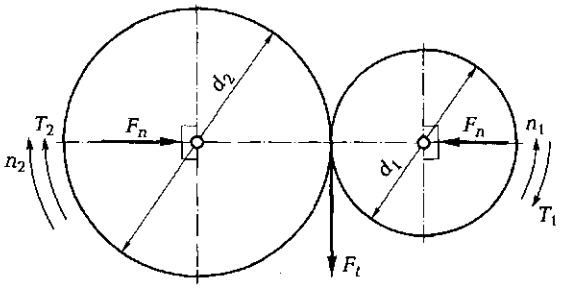
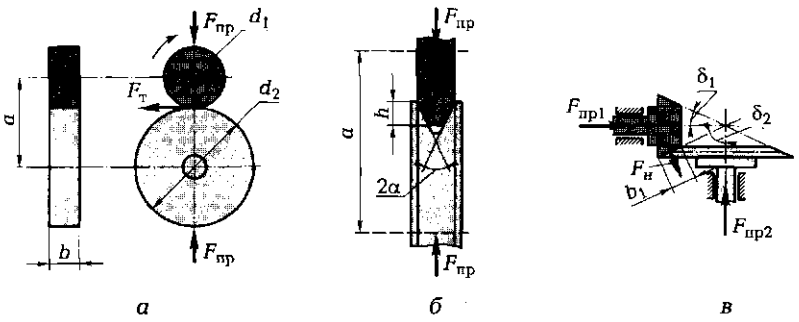


Рис. 1.6. Схема фрикционной передачи:

d_1 и d_2 — диаметры ведущего и ведомого катков; F_n — силы прижатия; T_1 и T_2 — силы трения; F_t — окружная сила; n_1 и n_2 — частота вращения катков



а *б* *в*

Рис. 1.7. Типы фрикционных передач:

а — с цилиндрическими катками; *б* — с клинчатыми катками; *в* — с коническими катками: a — межосевое расстояние между катками; b — ширина цилиндрического катка; $F_{пр}$ — сила прижима; d_1 и d_2 — диаметры соответственно малого и большого фрикционов (цилиндрических катков); $F_т$ — сила трения; h — глубина захвата при клинчатой передаче; α — угол наклона клинчатой передачи ($\alpha = 5...75°$); $F_н$ — нормальная сила трения; δ_1 и δ_2 — углы наклона соответственно первого и второго конических катков; b_1 — ширина конического катка

Передаваемые мощности фрикционных передач обычно не превышают 20 кВт.

Выполнив одно из тел качения с переменным радиусом качения, можно осуществить передачи с переменным передаточным числом (вариаторы). Схема лобового вариатора показана на рис. 1.8. Быстроходные фрикционные передачи обычно работают в условиях смазки во избежание сильного нагрева и интенсивного износа рабочих поверхностей.

Вариаторы с раздвижными конусами (рис. 1.9) имеют наибольшее применение в машиностроении. Промежуточным их элементом является широкий клиновой ремень или специальная цепь. Плавное изменение частоты вращения ведомого вала достигается раздвижением ведущего и синхронным сближением ведомого конусных катков, т.е. изменением расчетных радиусов катков R_1 и R_2.

Для фрикционных передач используются смазки типа ВТМ-1, ВТМ-2 и другие смазки, у которых коэффициент трения в 1,5 раза больше, чем у минеральных.

Достоинства фрикционных передач:

- простота конструкции;
- возможность применения фрикционных передач для бесступенчатого регулирования скорости;
- бесшумность;
- защита деталей механизма от перегрузок.

- разрыв цепей из-за недостаточной статической прочности);
- износ зубьев звездочки.

Критерием работоспособности для обильно смазываемых цепей при переменных внешних нагрузках с учетом внутренней динамики передачи является сопротивление усталости элементов цепей. Для средне- и низкоскоростных передач характерно усталостное разрушение пластин по проушинам, при скорости 20 м/с разрушается шарнир, а при более высоких скоростях происходит его заедание. Для таких цепей основной расчет — расчет на сопротивление усталости.

Для тихоходных цепных передач при недостаточной смазке и для быстроходных хорошо смазываемых передач критерием работоспособности является износостойкость шарнира и основным расчетом — расчет на износостойкость.

Смазка цепи. Способ смазки цепи выбирается в зависимости от ее скорости. При скорости цепи до 2...4 м/с используется периодическая смазка, при скорости 4...8 м/с — капельная или пластичная смазка, при скорости 8...10 м/с — смазка окунанием в масляную ванну, а при скорости более 12...15 м/с — смазка циркуляционная струйная на ненагруженную ветвь цепи.

Обеспечение износостойкости и сопротивления усталости цепи выполняется путем оценки удельных давлений.

1.4. ФРИКЦИОННЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Фрикционные передачи осуществляют передачу вращающего момента от ведущего катка к ведомому посредством сил трения (рис. 1.6).

На рис. 1.7 показаны схемы фрикционных передач с цилиндрическими, клинчатыми и коническими катками.

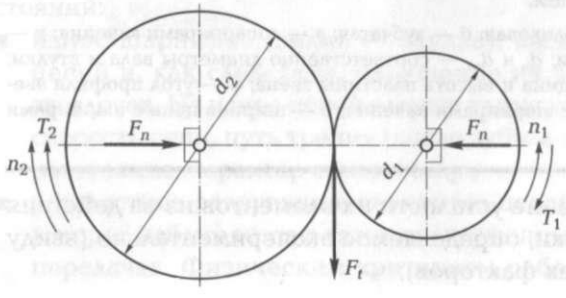
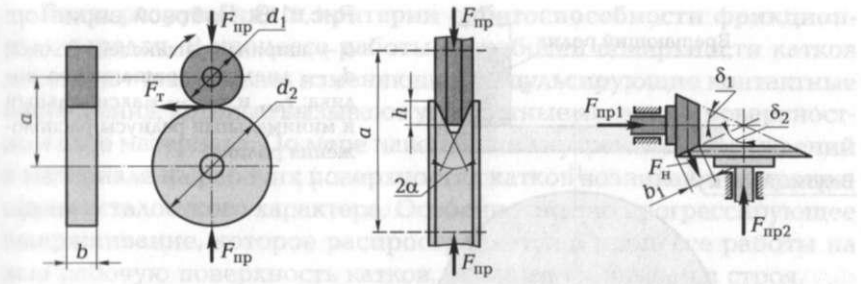


Рис. 1.6. Схема фрикционной передачи:
d_1 и d_2 — диаметры ведущего и ведомого катков; F_n — силы прижатия; T_1 и T_2 — силы трения; F_t — окружная сила; n_1 и n_2 — частота вращения катков



а *б* *в*

Рис. 1.7. Типы фрикционных передач:

а — с цилиндрическими катками; *б* — с клинчатыми катками; *в* — с коническими катками: a — межосевое расстояние между катками; b — ширина цилиндрического катка; $F_{пр}$ — сила прижима; d_1 и d_2 — диаметры соответственно малого и большого фрикционов (цилиндрических катков); $F_т$ — сила трения; h — глубина захвата при клинчатой передаче; α — угол наклона клинчатой передачи ($\alpha = 5...75°$); $F_н$ — нормальная сила трения; δ_1 и δ_2 — углы наклона соответственно первого и второго конических катков; b_1 — ширина конического катка

Передаваемые мощности фрикционных передач обычно не превышают 20 кВт.

Выполнив одно из тел качения с переменным радиусом качения, можно осуществить передачи с переменным передаточным числом (вариаторы). Схема лобового вариатора показана на рис. 1.8. Быстроходные фрикционные передачи обычно работают в условиях смазки во избежание сильного нагрева и интенсивного износа рабочих поверхностей.

Вариаторы с раздвижными конусами (рис. 1.9) имеют наибольшее применение в машиностроении. Промежуточным их элементом является широкий клиновой ремень или специальная цепь. Плавное изменение частоты вращения ведомого вала достигается раздвижением ведущего и синхронным сближением ведомого конусных катков, т.е. изменением расчетных радиусов катков R_1 и R_2.

Для фрикционных передач используются смазки типа ВТМ-1, ВТМ-2 и другие смазки, у которых коэффициент трения в 1,5 раза больше, чем у минеральных.

Достоинства фрикционных передач:

- простота конструкции;
- возможность применения фрикционных передач для бесступенчатого регулирования скорости;
- бесшумность;
- защита деталей механизма от перегрузок.

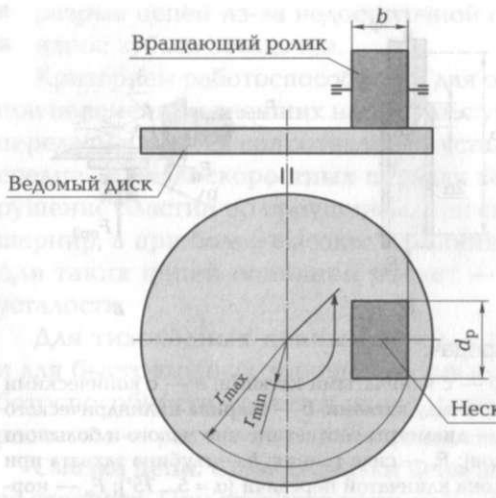


Рис. 1.8. Лобовой вариатор:
b — ширина вращающего ролика; $d_р$ — диаметр вращающего ролика; r_{max} и r_{min} — максимальный и минимальный радиусы расположения ролика

Недостатки фрикционных передач:

- большие нагрузки на валы;
- необходимость создания нажимных устройств;
- наличие пробуксовки и износ тел вращения;
- невозможность получения точных передаточных отношений;
- относительно большие габаритные размеры.

Фрикционные передачи подвержены большому износу вследствие различия окружных скоростей по длине контакта (геометрическое скольжение). Окружные скорости на ролике $v_р$ вдоль образующей постоянны, а скорости $v_д$ возрастают пропорционально радиусу (см. рис. 1.8), поэтому равенство окружных скоростей имеет место только в одной (нескользящей) точке, а в остальных наблюдается скольжение со скоростью $v_{ск} = v_р - v_д$, что приводит к потерям мощности и износу колес.

Точка, где скорости диска и ролика одинаковы (нескользящая точка), называется ***полюсом качения***. Полюс качения при работе с нагрузкой смещается на некоторое значение вправо. Это смещение определяется из условия равновесия ролика.

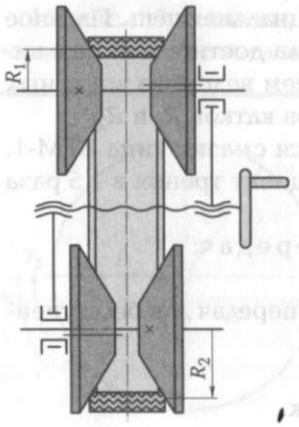


Рис. 1.9. Вариатор с раздвижными конусами:
R_1 и R_2 — расчетные радиусы катков

Виды разрушения и критерии работоспособности фрикционных передач. В процессе работы на рабочей поверхности катков действуют циклически изменяющиеся, пульсирующие контактные напряжения, которые вызывают усталостные явления в поверхностном слое материала. По мере накопления внутренних повреждений в материале на рабочих поверхностях катков возникают микротрещины усталостного характера. Особенно опасно прогрессирующее выкрашивание, которое распространяется в процессе работы на всю рабочую поверхность катков, вызывая их выход из строя.

Для передач, у которых не обеспечено образование масляной пленки между контактирующими поверхностями или вообще отсутствует смазка, характерен абразивный износ (истирание) рабочих поверхностей.

Долговечность катков, определяемая в первом случае числом циклов до появления повреждений на их поверхностях, а во втором — до допустимого изнашивания, зависит соответственно от величины контактного напряжения $\sigma_н$ и коэффициента трения f. Таким образом, при работе фрикционные пары разрушаются по рабочим поверхностям:

- в результате усталостного выкрашивания, если передачи работают в масле;
- из-за износа в передачах, работающих без смазки или при отсутствии условий для образования режима жидкостного трения;
- в результате задира поверхностей, что связано с пробуксовыванием в передачах при действии больших скоростей и нагрузок.

Материалы катков фрикционных передач. К материалам фрикционных катков предъявляются следующие требования: высокая износостойкость и поверхностная прочность, высокий и стабильный коэффициент трения в целях уменьшения сил прижатия, а также высокий модуль упругости для снижения упругого скольжения.

Сочетание материалов катков сталь по стали обеспечивает наименьшие габаритные размеры и высокий КПД передач.

Для фрикционных передач применяются шарикоподшипниковые стали ШХ15, цементируемые стали 18ГХТ и 18Х2Н4МА или сталь 65Г с твердостью рабочих поверхностей не менее 60 HRC. Катки из таких сталей, обычно работающие со смазкой, обеспечивают минимальные габаритные размеры и высокий КПД передач при высоких требованиях к точности изготовления и монтажа, а также к качеству рабочих поверхностей.

Передачи с катками из материалов сталь — неметалл требует меньшей точности изготовления и работают без смазки. В отличие

ПОЛИТЕХНИКА

от передач с катками из стали у них ниже КПД, больше габаритные размеры, но меньше силы прижатия, нагружающие валы из-за повышенного коэффициента трения.

При работе без смазки применяются пары катков из текстолита, пластмассы и резины по стали. Используются также катки из ретинакса марки ФК-16Л, специальных фрикционных пластмасс типа КФ-2 с асбестовым и целлюлозным наполнителем, имеющие коэффициент трения до 0,5, а также из металлокерамики типа ФАБ-П на основе алюминиевой бронзы.

1.5. ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ

1.5.1. Основные понятия, классификация и виды разрушения

Зубчатыми называют механизмы (передачи), в которых движение между звеньями (зубчатыми колесами) передается с помощью последовательно зацепляющихся зубьев (рис. 1.10). Они исполь-

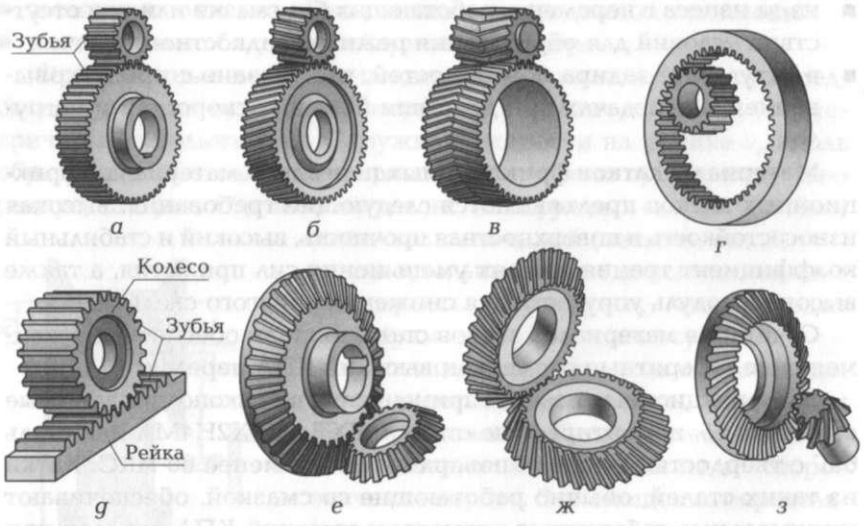


Рис. 1.10. Зубчатые передачи:

а — цилиндрическая прямозубая; *б* — цилиндрическая косозубая; *в* — цилиндрическая шевронная; *г* — цилиндрическая с внутренним зацеплением; *д* — передача колесо — рейка; *е* — коническая прямозубая; *ж* — коническая косозубая; *з* — коническая с круговыми зубьями

зуются в большинстве машин и приборов для передачи и преобразования движения в широком диапазоне мощностей (до 5 тыс. кВт) и скоростей (до 100 м/с). Зубчатые передачи просты в обслуживании и имеют высокие технико-экономические показатели: высокую надежность работы и КПД (до 0,97...0,98 для одной пары колес 7—8-й степени точности), простоту технического обслуживания и компактность (небольшую массу), а также малые нагрузки на валы и подшипники.

Процесс передачи движения с помощью зубьев называется ***зубчатым зацеплением***. У зубчатого колеса условно различаются тело и зубчатый венец, отделяемый от тела соосной поверхностью впадин.

Линия пересечения боковой поверхности зуба с какой-либо заданной поверхностью (например, плоскостью, перпендикулярной оси колеса) называется ***профилем зуба***.

Колесо, радиус которого равен бесконечности, называется ***зубчатой рейкой***.

Зубчатые передачи классифицируются по геометрическим и функциональным особенностям.

По взаимному расположению осей зубчатые передачи бывают *цилиндрические*, которые имеют параллельные оси, и *конические*, оси колес которых пересекаются.

По относительному расположению поверхностей вершин и впадин зубьев колес различаются передачи *внешнего зацепления* (образуются при зацеплении колес с внешними зубьями) и *внутреннего зацепления* (образуются при зацеплении колес, одно из которых имеет внутренние зубья, а другое — внешние). У колеса с внешними зубьями поверхность вершин находится вне впадин, а у колеса с внутренними зубьями — внутри поверхности впадин.

По характеру движения осей бывают *обычные передачи*, имеющие неподвижные геометрические оси всех колес, и *планетарные передачи*, у которых оси одного или нескольких колес подвижны.

По направлению (расположению образующей линии) зубьев зубчатые передачи бывают с *прямыми* (*прямозубые*) и *криволинейными зубьями*. Колеса прямозубых передач имеют прямые линии зубьев, а колеса передач с криволинейными зубьями — наклонные (косые) и круговые линии зубьев.

По профилям зубьев колес передачи подразделяются:

- на *передачи с эвольвентным зацеплением*, в котором профили зубьев очерчены эвольвентами окружностей;
- *передачи с циклоидальным зацеплением*, в котором профили зубьев — дуги эпи- и гипоциклоиды;

- *передачи с зацеплением Новикова*, в котором взаимодействуют выпуклый профиль зуба одного колеса и вогнутый профиль зуба другого колеса.

В зависимости от назначения зубчатые передачи могут встраиваться в конструкцию машины (*встроенные передачи*) или выделяться в самостоятельный узел (агрегат) и иметь отдельный корпус.

По конструктивному исполнению зубчатые передачи могут располагаться вне корпуса и иметь легкое ограждение — *открытые передачи*, либо работать в корпусе, изолирующем их от внешней среды, — *закрытые передачи* (редукторы, коробки скоростей и др.). Открытые передачи (9—12-я степень точности) работают при ограниченном смазывании при небольших окружных скоростях $v \leq 0{,}5$ м/с (тихоходные передачи). Закрытыми выполняются передачи (5—8-я степень точности), работающие при средних и высоких окружных скоростях (быстроходные передачи) с обильным смазыванием (из масляной ванны, струей масла и др.).

Различаются *силовые* и *несиловые* (кинематические) передачи. Силовые передачи используются для передачи вращающего момента. Их габаритные размеры определяются, как правило, прочностью зубьев. Несиловые передачи выполняют в основном кинематические функции и нагрузку практически не передают. Размеры таких передач определяются конструктивными соображениями. Зубчатые колеса подразделяются на «*мягкие*» (твердость зубьев меньше 350 единиц по Бринеллю) и «*твердые*» (твердость зубьев больше 350 единиц по Бринеллю).

Колесо (меньшее), к которому вращающий момент подводится извне, называется ведущим (шестерня), а колесо, с которого момент снимается, — ведомым.

Зубчатые передачи могут понижать или повышать частоты вращения ведомого вала. В понижающей передаче частота вращения ведомого вала меньше, а в повышающей — больше частоты вращения ведущего вала. Агрегат с понижающей передачей (передачами) называется *редуктором*, агрегат с повышающей передачей — *мультипликатором*.

Смазка зубчатых передач. Для предохранения рабочих поверхностей зубьев от заедания и абразивного износа, а также для уменьшения потерь на трение и связанного с этим нагревом зубчатые передачи должны смазываться. Закрытые передачи обычно смазываются жидкими минеральными маслами окунанием колес или принудительной подачей смазки в зону зацепления зубьев. Сорт смазки выбирается в зависимости от окружной скорости зубчатых колес и их удельной нагрузки. Так как нагрузка на зубья допускается

тем больше, чем выше механические свойства материалов колес, то рекомендуемые значения вязкости смазки устанавливаются в зависимости от материала колес. По требуемой вязкости подбирается сорт смазки.

Достоинства зубчатых передач:

- возможность работы в широком диапазоне скоростей и нагрузок;
- высокий КПД;
- малые габаритные размеры;
- надежность и долговечность;
- постоянство передаточного числа.

Перечисленные достоинства обеспечиваются следующими мерами:

- применением высококачественных легированных сталей с соответствующей термической обработкой;
- совершенной технологией, позволяющей получить высокую точность и чистоту обработки зубьев;
- наличием системы допусков и контрольно-измерительных инструментов;
- применением специальной формы зубьев (корригированные, фланкированные и бочкообразные зубья);
- наличием закрытых корпусов с хорошими условиями смазки.

Недостатки зубчатых передач:

- шумность;
- повышенная виброактивность (при высоких скоростях);
- зубчатые передачи не предохраняют детали и узлы механизма от перегрузок;
- ограниченность передаточного числа;
- достижение высокой точности, связанное с большими затратами;
- необходимость в обеспечении высокой жесткости валов и опор.

Виды разрушения и критерии работоспособности зубчатых передач. ***Излом зубьев*** происходит вследствие действия номинальных нагрузок с повторяемостью более 10^4 циклов, приводящих к возникновению переменных максимальных напряжений изгиба от нулевого цикла в зоне ножки зуба, следствием чего является развитие усталостных трещин, что характеризует недостаточное сопротивление усталости при изгибе (рис. 1.11).

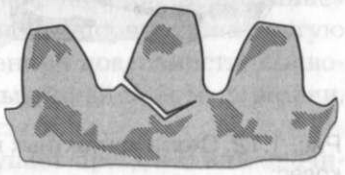


Рис. 1.11. Схема усталостного изломного разрушения зуба

Поломка зубьев или излом вследствие перегрузок ударного или статического действия с повторяемостью менее 10^4 циклов характеризуют недостаточную статическую изгибную прочность.

Для предотвращения излома зубьев проводятся расчеты на изгиб: на сопротивление усталости при изгибе и на прочность при действии максимальной нагрузки.

Усталостное выкрашивание (*питтинг*) *поверхности зубьев*, вызванное действием переменных контактных напряжений на поверхности зубьев при наличии сил трения, что характеризует недостаточное сопротивление усталости по контактным напряжениям. Выкрашивание может быть ограниченным и прогрессирующим. После приработки у «мягких» колес возможно ограниченное выкрашивание, а у «твердых» колес — прогрессирующее.

Усталостное выкрашивание наблюдается на ножках зубьев вблизи полюса зацепления (рис. 1.12, *а*), где силы трения являются наибольшими, так как скольжение профилей здесь мало, и действует максимальная нагрузка (однопарное зацепление), что также объясняется гипотезой расклинивающего действия смазки. Силы трения ввиду скольжения профилей на ведущем колесе направлены от полюса, а на ведомом — к полюсу. Ориентирование усталостных трещин на ножках и головках зубьев противоположно направлению сил трения (рис. 1.12, *б*). Расклинивающее действие смазки, заключенной в трещине в зоне ножки, вызывает ее развитие до наступления отслаивания частицы металла, так как, когда трещина запирается, масло в ней остается, поскольку не успевает

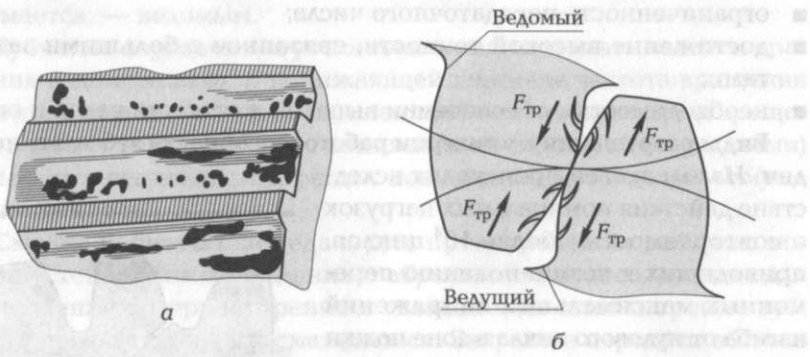


Рис. 1.12. Схема контактных повреждений активных поверхностей зубьев колес:

а — усталостное выкрашивание на ножках зубьев вблизи полюса зацепления; *б* — ориентирование усталостных трещин на ножках и головках зубьев

из нее выжиматься и давление его резко увеличивается. В зоне головки трещина запирается после выдавливания из нее масла, и давление его возрастает незначительно. Из-за этого количество ямок и их размер увеличиваются наиболее интенсивно к основанию зуба.

Для предотвращения усталостного выкрашивания проводится расчет на сопротивление усталости по контактным напряжениям (выносливость).

Такие виды разрушений, как поломка зубьев и усталость выкрашивания, имеют место для закрытых передач при заданных режимах работы.

Остаточные деформации или ***хрупкое разрушение поверхностного слоя зубьев*** при недостаточной его твердости, а также его ***отслаивание*** у закаленных цементованных и азотированных зубьев от мягкой сердцевины (при резком переходе от твердой поверхности к мягкой сердцевине) при действии перегрузок или нагрузок ударного характера происходят вследствие несоответствующей требованиям статической контактной прочности. В этом случае проводится расчет на контактную прочность при действии максимальной нагрузки. Эти виды повреждений зубьев характерны для закрытых передач при заданных режимах работы.

Абразивный износ зубьев наблюдается в открытых передачах, а также при недостаточной или загрязненной смазке и недостаточной защите от попадания абразивных частиц в закрытых передачах. Относительное скольжение профилей зубьев также является фактором, вызывающим их изнашивание.

В открытых передачах процесс изнашивания опережает процесс усталостного выкрашивания, поэтому усталостное выкрашивание не является для них лимитирующим. Абразивный износ чаще всего встречается в открытых передачах, а также в закрытых при повышенном загрязнении смазки.

Заедание заключается в молекулярном сцеплении (схватывании) микронеровностей контактирующих поверхностей зубьев при разрушении масляной пленки и последующем разрушении этих связей в процессе скольжения зубьев. При этом происходит «вырывание» частиц металла с одной поверхности и их «перенос» на другую с последующим «царапанием» сопряженной поверхности, приводящее к образованию задиров при дальнейшей работе передачи, что может вызвать быстрый выход ее из строя.

Разрушение масляной пленки наступает при действии значительных удельных давлений (скольжение профилей в зубчатых передачах относительно мало) и одновременной потере маслом

его смазочных свойств (при высоких температурах масла и при значительном его окислении). Наиболее часто заеданию подвержены незакаленные поверхности зубьев из однородных материалов. Наименее опасно заедание при большой разнице твердостей поверхностей зубьев.

Расчет на заедание заключается в определении температуры масла и сравнении ее с допускаемой.

Данный вид разрушения имеет место для закрытых передач при высоких нагрузках и температурах либо из-за неудовлетворительных условий смазки.

Повреждение торцов зубьев чаще всего встречается у закрытых передач при отсутствии синхронизаторов.

Для предотвращения повреждения торцов зубьев применяются: зубозакругление и синхронизаторы для выравнивания окружных скоростей включающихся колес.

Следовательно, основными критериями работоспособности закрытых зубчатых передач являются сопротивление усталости по изгибу (выносливость) и сопротивление усталости по контактным напряжениям (выносливость), а также изгибная и контактная прочность при действии максимальной нагрузки.

Материалы зубчатых колес. К материалам зубчатых колес предъявляются следующие требования: соответствие основным критериям работоспособности, технологичность, стоимость, обеспечение небольшой массы и габаритных размеров, а также надежность и коррозионная стойкость.

Серый чугун применяется для открытых, тихоходных и малонагруженных передач. Данный материал обладает сопротивляемостью к заеданию при недостаточной смазке. Используются серый чугун марок СЧ 15; СЧ 20 ... СЧ 35.

Модифицированный и высокопрочный чугун марок МСЧ 30, МСЧ 35 и ВЧ 50 применяется как заменитель стального литья для колес больших размеров.

Стальное литье применяется для колес больших размеров. После литья колеса подвергаются нормализации для снятия внутренних напряжений. Используются стали марок 35Л ... 50Л; 40ХЛ.

Сталь является основным материалом зубчатых колес. Крупные колеса изготавливаются из поковок, а мелкие — из проката. Стальные зубчатые колеса подразделяются на две группы:

- с твердостью зубьев менее 350 НВ. К видам термообработки таких колес относятся нормализация или улучшение (объемная закалка с высоким отпуском). Зубья могут быть нарезаны после термообработки, т. е. отпадает необходимость в доводочных

операциях. Они хорошо прирабатываются. Для данных зубчатых колес используются стали марок 40, 45, 50Г, 40Х, 35ХМЮА, 35ХГС и др.;

- с твердостью зубьев больше 350 НВ. Химико-термическая обработка таких колес ведется после зубонарезания. К видам термообработки этих зубчатых колес относятся:
  - ✓ объемная закалка с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ) или пламенная, позволяющие достигнуть высокую поверхностную прочность зубьев при твердости 48...52 HRC. Недостатком такого вида термообработки является низкая ударная вязкость;
  - ✓ поверхностная закалка ТВЧ, позволяющая получить высокую поверхностную прочность зубьев при мягкой сердцевине, что повышает их прочность на излом. Толщина закаленного слоя при этом достигает 3,5...4 мм и имеет твердость поверхности 50...55 HRC. Поверхностная закалка возможна для колес с модулем $m > 3$ мм. При объемной и поверхностной закалке применяются стали марок 40Х, 40ХН, 40ХНМА и 35ХМ;
  - ✓ цементация, или науглероживание, — насыщение поверхности зубьев углеродом. Применяется для низкоуглеродистых сталей (менее 0,3 % углерода). Глубина цементованного слоя составляет $0,3m$ и не должна превышать 2 мм. При невысоких нагрузках используются стали марок 15 и 20, а при высоких — 12ХН3А, 20Х, 20ХНМ, 20Х2Н4А, 18ХГТ, 25ХГТ и 15ХФ. При цементации обеспечивается высокая твердость поверхности зубьев — 56...62 HRC. Закалка и цементация приводят к деформации (короблению) зубьев, поэтому их форму восстанавливают доводочными операциями (шлифованием, притиркой и обкаткой);
  - ✓ азотирование — насыщение поверхности зубьев азотом с толщиной слоя 0,25...0,6 мм. Ионное азотирование и азотирование в тлеющем разряде позволяют получить высокую твердость поверхности зубьев — 700...950 HV (по Виккерсу) или 58...65 HRC. Азотирование не вызывает коробление зубьев, что позволяет исключить последующее их шлифование. При данном виде термообработки применяются стали марок 38Х2МЮА; 40ХФА; 40ХНА; 40Х. Недостатком азотирования является низкая износостойкость и длительность процесса (до 20...60 ч);
  - ✓ нитроцементация — насыщение поверхности зубьев углеродом и азотом в газовой среде с последующей закалкой. При

данном виде обработки используются стали марок 18ХГТ; 25ХГТ; 40Х.

Пластмассы применяются для высокоскоростных малонагруженных передач в целях снижения шума и динамических нагрузок. Шестерня выполняется из текстолита или капрона, а колесо — из стали. Достоинство пластмассовых зубчатых колес — хорошая прирабатываемость.

1.5.2. Конструкции зубчатых колес

Конструктивные формы зубчатых колес определяются в значительной мере их размерами (преимущественно диаметром), видом производства (единичное, серийное и др.) и способом соединения с валом (насадные колеса и валы-шестерни, изготовленные как единое целое с валом).

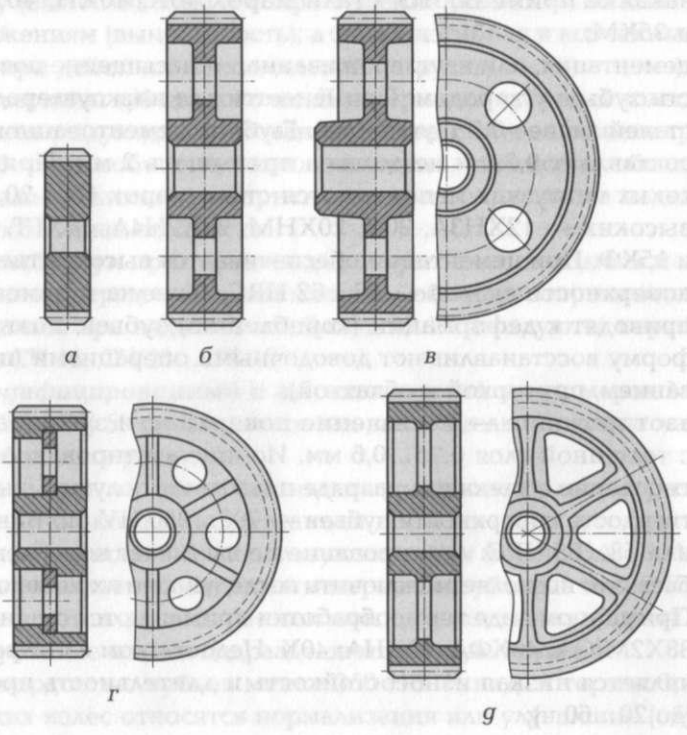


Рис. 1.13. Конструкции зубчатых колес (*а*—*д*) (пояснения приведены в тексте)

Диаметр зубчатых колес, объем (вид) производства и возможности предприятия-изготовителя определяют способ получения заготовок.

Зубчатые колеса небольших диаметров (менее 150 мм) изготавливаются обычно цельными из штампованных заготовок без углубления (рис. 1.13, *а*). Колеса большего диаметра (до 400...500 мм) изготавливаются (для уменьшения массы) из заготовок с углублениями и отверстиями (рис. 1.13, *б*). В единичном и мелкосерийном производстве заготовки таких зубчатых колес получаются из сортового проката или поковок, полученных свободной ковкой, а в крупносерийном производстве — штамповкой (рис. 1.13, *в*). Колеса больших диаметров (более 500 мм) изготовляются сварными (рис. 1.13, *г*) — в единичном и мелкосерийном производстве и литыми (рис. 1.13, *д*) — в крупносерийном и массовом производстве.

Установка зубчатых колес на валах производится с их фиксированием в окружном и осевом направлениях. В окружном направлении зубчатые колеса фиксируются посадкой, которая назначается в зависимости от передаваемой нагрузки и частоты разборки.

1.5.3. Цилиндрические зубчатые передачи

Геометрический расчет эвольвентных цилиндрических прямозубых передач. Расчет геометрии цилиндрических зубчатых передач выполняется по ГОСТ 16532—70.

Цилиндры, являющиеся аксоидами, т.е. перекатывающимися без скольжения, в относительном движении двух зацепляющихся колес называются ***начальными***: d_{w1} и d_{w2} — диаметры начальных окружностей, мм (рис. 1.14, *а*). Цилиндры, ограничивающие зубчатые венцы, являются ***цилиндрами выступов и впадин***: d_{a1} и d_{a2} — диаметры окружностей выступов зубьев, мм; d_{f1} и d_{f2} — диаметры окружностей впадин зубьев, мм.

Окружность, развертка (эвольвента) которой дает эвольвентный профиль зуба, является ***основной***: d_{b1} и d_{b2} — диаметры основных окружностей, мм.

Геометрическое место точек касания двух сопряженных профилей в процессе зацепления определяет положение линии зацепления. Линия зацепления является прямой, касательной к основным окружностям. Активный участок линии зацепления — отрезок *ab*, в пределах которого осуществляется касание профилей, определя-

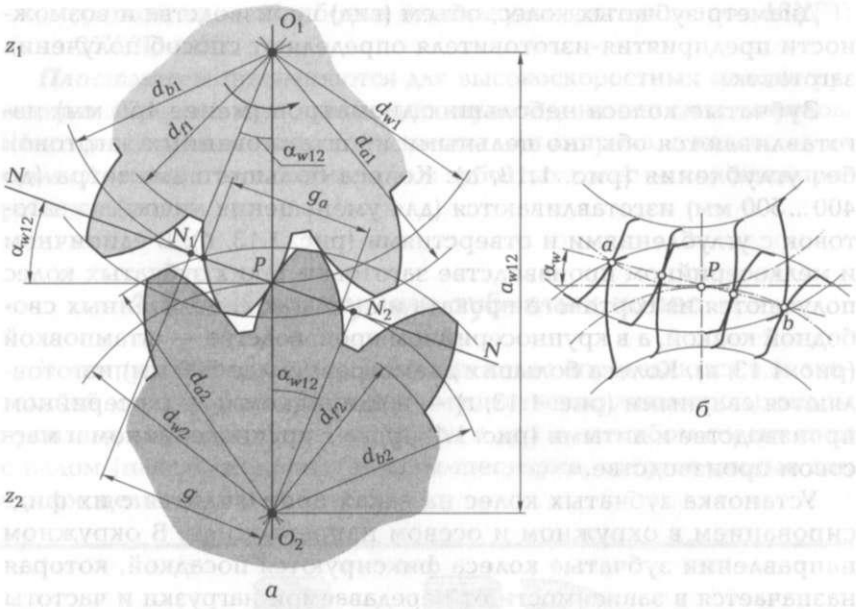


Рис. 1.14. Зацепление двух зубчатых колес (*а*, *б*) (пояснения приведены в тексте)

ется ее пересечением с окружностями выступов (рис. 1.14, *б*). Точка касания начальных окружностей или точка пересечения линии зацепления с линией центров является ***полюсом зацепления*** (точка *P*). Расстояние между двумя соседними эвольвентами по делительной окружности является окружным делительным шагом (равен шагу исходного контура) $p = \pi m$, где m — модуль, являющийся основным параметром зубчатой передачи.

Рассмотрим зацепление зубчатого колеса модуля m с числом зубьев z с инструментальной рейкой (рис. 1.15). Предположим, что нарезание зубьев происходит при радиальном смещении на величину mx (x — коэффициент смещения рабочего контура рейки относительно колеса), что эквивалентно смещению делительной прямой (ДП) рейки относительно начальной прямой (НП) на ту же величину.

Так как станочная начальная окружность в процессе нарезания зубьев на колесе катится без скольжения по начальной прямой рейки, то на этой окружности шаг рейки должен уместиться z_i раз (z_i — число нарезаемых зубьев на i-м колесе передачи). Окружность, на которой шаг колеса равен шагу рейки, называется ***делительной***. Для нее $z_i = \pi d_i / p$, следовательно

$$d_{1(2)} = mz_{1(2)} \text{ и } m = d_{1(2)}/z_{1(2)}, \qquad (1.1)$$

где d_1 и d_2 — диаметры делительных окружностей, мм.

Смещению делительной прямой условно присваивается определенный знак. Если делительная прямая не пересекает и не касается делительной окружности, то смещение считается положительным, а если пересекает — отрицательным. Форма зубьев колес в зависимости от их числа, а также нарезанных с различным смещением инструмента показана на рис. 1.16, *а*, *б*. Положительное смещение приводит к утолщению зуба у основания и уменьшению кривизны профиля, так как зуб очерчивается более удаленным от основной окружности участком эвольвенты. Такие изменения формы зуба способствуют повышению его прочности. При коэффициенте суммарного смещения $x_\Sigma = x_1 + x_2 = 0$ передача является равносмещенной (высотная коррекция).

Для закрытых передач с твердой поверхностью зубьев, когда при малых числах зубьев шестерни $(z_1 \le 17)$ ее несущая способность ограничивается прочностью зубьев на изгиб, высотная коррекция позволяет обеспечить при исключении подрезания ножки зуба повышение изгибной прочности зубьев шестерни и равнопрочность по изгибу зубьев шестерни и колеса (рис. 1.16, *в*, *г*).

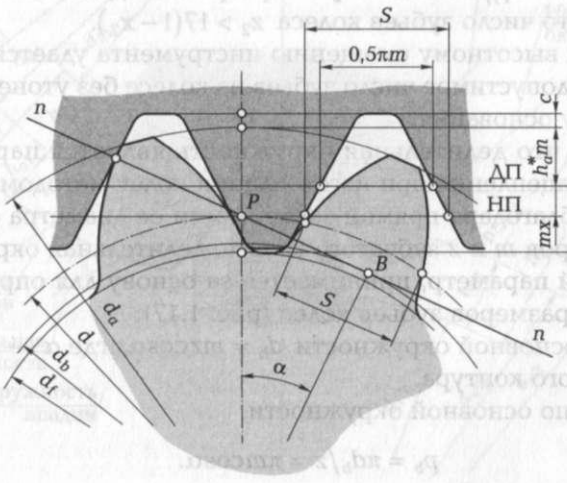


Рис. 1.15. Зацепление зубчатого колеса с инструментальной рейкой (пояснения приведены в тексте)

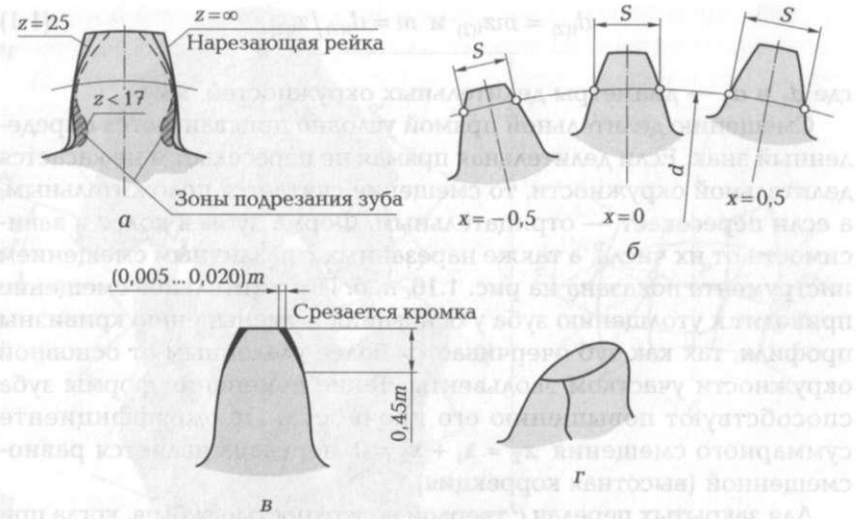


Рис. 1.16. Форма зубьев колес в зависимости:

а — от числа зубьев; *б* — от смещения инструмента; *в* — от высотной модификации; *г* — от продольной модификации

Для прямозубых цилиндрических передач коэффициенты смещения $x_1 = (17 - z_1)/17 \le 0{,}6$ и $x_2 = -x_1$. При этом должно выполняться условие, что число зубьев колеса $z_2 > 17(1 - x_2)$.

Благодаря высотному смещению инструмента удается снизить минимально допустимое число зубьев на колесе без утонения (подрезания) их у основания.

Отметим, что делительная окружность является параметром станочного зацепления при изготовлении колес методом обкатки. Кроме того, благодаря прямой зависимости ее диаметра от основных параметров m и z зубчатого колеса, делительная окружность, как условный параметр, принимается за основу для определения элементов и размеров зубьев колес (рис. 1.17).

Диаметр основной окружности $d_b = mz\cos\alpha$, где α — угол профиля исходного контура.

Шаг зуба по основной окружности

$$p_b = \pi d_b / z = \pi m \cos\alpha. \qquad (1.2)$$

Толщина зуба по делительной окружности равна ширине впадины рейки по начальной прямой

$$S = m\left(\pi/2 + 2x\mathrm{tg}\alpha\right). \qquad (1.3)$$

Углы зацепления: $\alpha = 20°$ (ГОСТ 21354—87) — делительный, является углом профиля исходного контура; α_w — начальный.

Межосевые расстояния стандартных редукторов: a_w = 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 180; 200; 225; 250; 280; 315; 355; 400; 450; 500 мм. Для нередукторных зубчатых передач можно не придерживаться этих значений.

Для «вписывания» прямозубой передачи в заданное межосевое расстояние — a_w, мм (ГОСТ 16532—70) можно воспользоваться изменением угла зацепления (за счет смещения).

Диаметры начальных окружностей

$$d_{w1} = 2a_w/(u+1) \text{ и } d_{w2} = 2a_w - d_{w1}, \qquad (1.4)$$

где u — передаточное число.

Диаметры окружностей выступов и впадин

$$d_{a1(2)} = d_{1(2)} + 2\left(1 + x_{1(2)}\right)m \text{ и } d_{f1(2)} = d_{1(2)} - \left(2{,}5 - 2x_{1(2)}\right)m. \qquad (1.5)$$

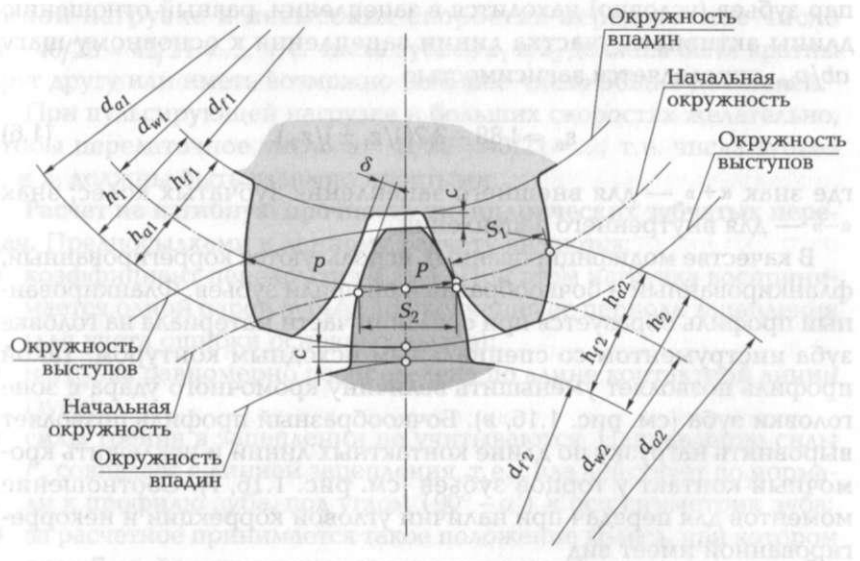


Рис. 1.17. Зацепление эвольвентных цилиндрических зубчатых колес (основные параметры зацепления)

Высота зубьев равна радиальному расстоянию между окружностями выступов и впадин (см. рис. 1.17). Начальная окружность делит зуб на две части — головку и ножку. Высота головки зуба одного колеса меньше высоты ножки зуба второго, благодаря чему образуется радиальный зазор, т.е. $c = h_{f1(2)} - h_{a2(1)} = 0{,}25m$. Для обеспечения бокового зазора δ сумма толщин зубьев по начальным окружностям принимается меньше шага, т.е. $S_1 + S_2 < p$. Зацепление зубчатых колес в случае $\delta = 0$ называется плотным.

При коэффициенте суммарного смещения $x_\Sigma = 0$ передача будет без смещения либо равносмещенная $(x_1 = -x_2)$, в этом случае начальный угол смещения равен делительному $\alpha_w = \alpha = 20°$, и делительная окружность совпадает с начальной, т.е. $d_{w1} = d_1 = mz_1$; $d_{w2} = d_2 = mz_2$.

При этом диаметры окружности выступов и впадин $d_{a1(2)} = d_{1(2)} + 2m$; $d_{f1(2)} = d_{1(2)} - 2{,}5m$, а межосевое расстояние $a_w = a = 0{,}5m(z_2 \pm z_1)$, где знак «+» — для внешнего зацепления зубчатых колес; знак «–» — для внутреннего зацепления.

Расчеты геометрических параметров зубчатых передач должны обеспечивать получение всех линейных размеров с точностью не менее 0,01 мм. Углы следует вычислять с точностью не менее одной угловой минуты.

Коэффициент торцевого перекрытия, показывающий, сколько пар зубьев (условно) находится в зацеплении, равный отношению длины активного участка линии зацепления к основному шагу ab/p_b, определяется зависимостью

$$\varepsilon_\alpha = 1{,}88 - 3{,}2(1/z_1 \pm 1/z_2), \qquad (1.6)$$

где знак «+» — для внешнего зацепления зубчатых колес; знак «–» — для внутреннего зацепления.

В качестве модифицированных используются коррегированный, фланкированный и бочкообразный профили зубьев. Фланкированный профиль образуется при срезании части материала на головке зуба инструментом со специальным исходным контуром. Такой профиль позволяет уменьшить величину кромочного удара в зоне головки зуба (см. рис. 1.16, *в*). Бочкообразный профиль позволяет выровнить нагрузку по длине контактных линий и исключить кромочный контакт у торцов зубьев (см. рис. 1.16, *г*). Соотношение моментов для передач при наличии угловой коррекции и некоррегированной имеет вид

$$T_{кор}/T_{некор} = \mathrm{tg}\alpha_w/\mathrm{tg}20°.$$

При нарезании зубьев без смещения можно изготовить прямозубое колесо без подрезания ножки зуба лишь при минимальном числе зубьев шестерни $z_{1min} = 17$. Вводя положительное смещение инструмента, получается $z_{1min} = 14$ и менее. На практике минимальное число зубьев прямозубой шестерни назначается не только из технологических, но и кинематических соображений (плавность работы и др.). Для колес, нарезаемых без смещения, в зависимости от частоты вращения n_1, мин$^{-1}$, рекомендуется принимать:

n_1, мин$^{-1}$	z_{1min}
Менее 100	17...18
100...500	18...22
500...1 000	22...24
Более 1 000	24...26

При выборе чисел зубьев шестерни необходимо также учитывать конструктивное ее исполнение. Для шестерни, выполненной как единое целое с валом (вал-шестерня), $z_{1min} = 18...20$. При выполнении шестерни со ступицей или в виде блока $z_{1min} = 22...24$. Данные рекомендации имеют место из конструктивных соображений.

Для ускорения приработки желательно, чтобы при постоянной нагрузке и невысоких скоростях передаточное число $u = 40/20 = 42/21 = ...$, т.е. числа зубьев z_1 и z_2 должны быть кратны друг другу или иметь возможно большее число общих делителей.

При пульсирующей нагрузке и больших скоростях желательно, чтобы передаточное число $u = 41/20 = 43/21 = ...$, т.е. числа зубьев z_1 и z_2 должны быть взаимно простыми.

Расчет на изгибную прочность цилиндрических зубчатых передач. Предпосылками к данному расчету являются:

- коэффициент перекрытия $\varepsilon_\alpha = 1$. При этом нагрузка воспринимается одной парой зубьев до окончания ее периода зацепления (для учета ошибки основных шагов);
- нагрузка равномерно распределена по длине контактной линии (зуба);
- силы трения в зацеплении не учитываются. Направление силы F_n совпадает с линией зацепления, т.е. сила действует по нормали к профилю зуба, под углом $(90° - \alpha')$ к оси симметрии зуба;
- за расчетное принимается такое положение колеса, при котором сила F_n, действующая в зацеплении, приложена к вершине зуба. При этом в основании зуба действует максимальное напряжение изгиба;

98466

- за расчетную схему зуба принимается консольная балка равного сопротивления. Опасное сечение зуба расположено у его основания в зоне наибольшей концентрации напряжений. Концентрация напряжений учитывается введением в расчетные зависимости теоретического коэффициента концентрации напряжений K_T.

Усталостные трещины, как показывают опытные исследования и эксплуатация зубчатых передач, образуются со стороны растяжения зуба, где по абсолютной величине суммарное напряжение меньше, в связи с этим прочность на изгиб проверяется для растянутой стороны зубьев.

Расчет на контактную прочность цилиндрических прямозубых передач. Данный расчет производится при контакте зубьев в полюсе зацепления. Предпосылками к расчету на контактную прочность рабочих поверхностей зубьев являются:

- контакт зубьев в полюсе представляется контактом двух цилиндров с параллельными осями с радиусами кривизны ρ_1 и ρ_2, равными радиусам кривизны эвольвент профилей зубьев в полюсе;
- силы трения не учитываются;
- нагрузка равномерно распределена по длине контактной линии.

Расчет на прочность при действии максимальной нагрузки. Если максимальный момент не задан, то его значение определяется с учетом специфики работы машины:

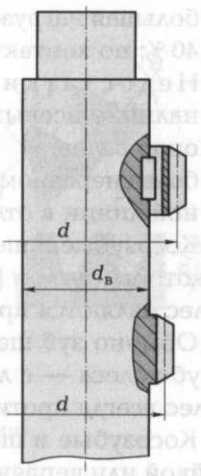
- по пусковому моменту электродвигателя ($T_{max} = T_{пуск}$);
- предельному моменту при наличии предохранительных элементов ($T_{max} = T_{пред}$);
- инерционному моменту при экстренном торможении ($T_{max} = T_{ин}$).

Для предотвращения остаточных деформаций или хрупкого разрушения зубьев условия прочности при действии максимальной нагрузки имеют вид:

- по напряжениям изгиба $\sigma_{F_{max}} = \sigma_F \left(T_{max}/T_{ном}\right) \le \sigma_{FP_{max}}$;
- контактным напряжениям $\sigma_{H_{max}} = \sigma_H \sqrt{T_{max}/T_{ном}} \le \sigma_{HP_{max}}$, где $T_{ном}$ — номинальный момент (максимальный из длительно действующих), по которому проведены расчеты на сопротивление усталости; σ_F и σ_H — напряжения изгиба (для зубьев шестерни и колеса) и контактные напряжения, вычисленные при расчетах на сопротивление усталости при действии номинального момента; $\sigma_{FP_{max}}$, $\sigma_{HP_{max}}$ — допускаемые (максимальные) напряжения изгиба и контактные напряжения.

Проектировочный расчет цилиндрических прямозубых передач. При конструировании цилиндрических зубчатых передач должны быть обеспечены следующие требования:

Рис. 1.18. Конструктивное определение диаметра зубчатого колеса



- получение конструкции передач с малыми габаритными размерами и массой;
- возможность посадки шестерни на вал, что требует определенного диаметра шестерни (рис. 1.18). При этом диаметр вала, мм, $d_в \cong 110\sqrt[4]{P(\text{кВт})/n}$. Делительный диаметр шестерни $d = mz$, откуда модуль зубчатой передачи m принимается конструктивно (при известном числе зубьев z из кинематического расчета);
- возможность установки подшипников двух соседних валов с допустимым расстоянием между их наружными диаметрами, что требует определенной величины межосевого расстояния $a = 0{,}5m(z_1 + z_2)$, откуда определяется модуль зубчатой передачи m.

Так как в проверочные формулы входят в явном виде два неизвестных параметра m и b (при известной кинематике передачи), то задача является многовариантной. Для упрощения проектирования ширина зубчатого колеса назначается в зависимости от диаметра шестерни, т.е. $b = \psi_{bd} d_1$, где ψ_{bd} — коэффициент ширины зубчатого венца. Для одиночной прямозубой цилиндрической передачи $\psi_{bd} = 0{,}3\ldots0{,}5$, причем меньшие значения для коробок скоростей нежестких валов и опор, а бóльшие — для редукторов, жестких валов и опор. Для блоков коробок скоростей коэффициент ширины зубчатого венца $\psi_{bd} = (6\ldots8)/z_{1\min}$.

1.6. КОСОЗУБЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ

1.6.1. Общие сведения

Преимущества косозубых цилиндрических передач по сравнению с прямозубыми:

- зубья входят в зацепление не сразу по всей длине, а постепенно, обеспечивая для косозубых передач более высокую плавность работы и меньшие динамические нагрузки;
- меньшие ударные нагрузки;
- больший коэффициент перекрытия;

- большая нагрузочная способность: по изгибной прочности — до 40 %; по контактной — до 25 %.

Недостатки косозубых цилиндрических передач:

- наличие осевых сил, следовательно, усложнение конструкции опор валов;
- более неравномерное распределение нагрузки по длине контактной линии в отличие от прямозубых передач.

Косозубые и шевронные колеса имеют зубья, наклоненные под некоторым углом β к образующей делительного цилиндра, но оси колес являются при этом параллельными.

Обычно зуб шестерни изготовляется с правым направлением, а зуб колеса — с левым (направление линии зубьев сопряженных колес всегда противоположно).

Косозубые и шевронные колеса могут нарезаться прямозубой рейкой или червячной фрезой методом обкатки, как и прямозубые колеса. Наклон линии зуба получается соответствующим поворотом инструмента относительно заготовки на угол β. Косозубое эвольвентное колесо имеет при таком изготовлении теоретически точные эвольвентные профили зубьев в торцовых сечениях. Это обеспечивает торцовую картину зацепления в косозубой передаче, совпадающую по характеру с зацеплением прямозубых эвольвентных передач.

В практике зубообработки применяются иногда зубострогальные станки, работающие косозубыми зуборезными гребенками. Колеса, нарезанные такими инструментами, а также косозубыми долбяками могут иметь строго регламентированные углы наклона линии зубьев β на делительных цилиндрах, соответствующие углам наклона линии зубьев на инструментах.

1.6.2. Геометрический расчет эвольвентных косозубых цилиндрических передач

На рис. 1.19, *а* приведены основные параметры косозубых цилиндрических передач: β — угол наклона линии зуба на делительном цилиндре; p_n — нормальный шаг; p_x — осевой шаг; p_t — торцевой шаг.

Угол наклона линии зуба обычно для косозубых передач принимается $\beta = 6...25°$, а для шевронных передач — $\beta = 35...45°$.

Угол профиля (делительный угол) α_t в торцовой плоскости не равен углу α_n в нормальном к оси сечении косозубой рейки, так

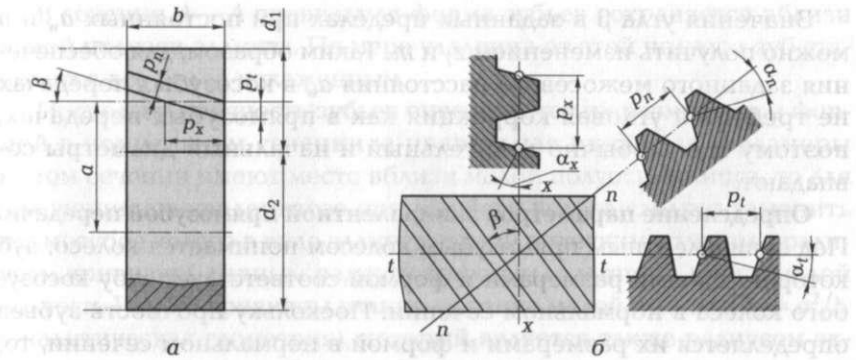


Рис. 1.19. Косозубая передача:

а — геометрические параметры; *б* — контур косозубой рейки

как при постоянной высоте зуба шаги p_t и p_n не равны (рис. 1.19, *б*). При этом $\mathrm{tg}\alpha_t = \mathrm{tg}\alpha_n/\cos\beta$ ($\alpha_n = 20°$).

Таким образом, при нарезании прямозубой рейкой, червячной фрезой или косозубым долбяком косозубое колесо будет иметь стандартный нормальный модуль m_n, а торцевой модуль m_t может быть нестандартным (произвольным).

В случае нарезания косозубой рейкой стандартным будет только модуль m_t, а модуль m_n в общем случае может быть нестандартным.

Однако угол β можно выбрать таким, чтобы оба модуля оказались стандартными. Такие инструменты используются для изготовления шевронных колес.

Для косозубых передач в качестве стандартного принимается нормальный модуль $m_n(m)$. Соотношение шагов в этом случае: $p_n = \pi m_n$; $p_t = p_n/\cos\beta$ $\left(m_t = m_n/\cos\beta\right)$; $p_x = p_n/\sin\beta$.

Длина делительной окружности $\pi d = p_t z = \pi m_t z = \pi m_n z/\cos\beta$, откуда делительный диаметр косозубого колеса $d = m_t z = m_n z/\cos\beta$. При этом: $d_1 = m_t z_1 = m_n z_1/\cos\beta$; $d_2 = m_t z_2 = m_n z_2/\cos\beta$; $a = m_n(z_1 + z_2)/(2\cos\beta)$.

Часто, например, для обеспечения стандартных межосевых расстояний или в соосных передачах значение угла наклона линии зуба β устанавливается из условия размещения («вписывания») передачи в заданное межосевое расстояние a_w при фиксированных значениях u, z_1 и m. При этом

$$\beta = \arccos\left[m z_1 (u+1)/(2a_w)\right]. \qquad (1.7)$$

Значения угла β в заданных пределах при постоянных a_w и u можно получить изменением z_1 и m. Таким образом, для обеспечения заданного межосевого расстояния a_w в косозубых передачах не требуется угловая коррекция как в прямозубых передачах, поэтому здесь обычно делительный и начальный диаметры совпадают.

Определение параметров эквивалентной прямозубой передачи. Под эквивалентным прямозубым колесом понимается колесо, зуб которого своими размерами и формой соответствует зубу косозубого колеса в нормальном сечении. Поскольку прочность зубьев определяется их размерами и формой в нормальном сечении, то, следовательно, прочность зубьев эквивалентного прямозубого колеса и косозубого колеса в нормальном сечении будет равной.

В сечении косозубого колеса плоскостью $A—A$, нормальной направлению зубьев, будет эллипс (рис. 1.20), у которого полуоси $b = d/2$; $a = d/(2\cos\beta)$, где d — делительный диаметр косозубого колеса; β — угол наклона линии зуба (делительный).

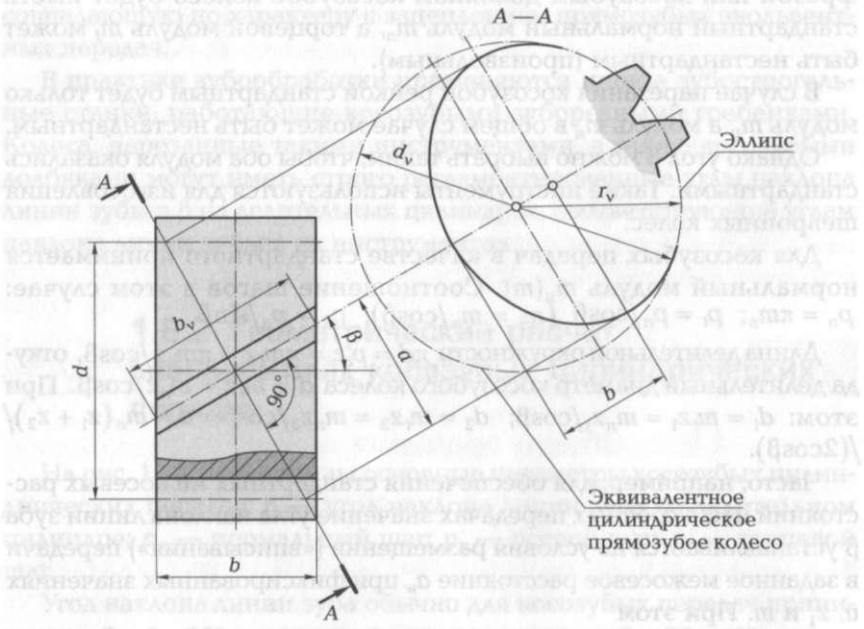


Рис. 1.20. Построение эквивалентного цилиндрического прямозубого колеса

В сечении $A—A$ правильная форма зубьев сохраняется вблизи малой полуоси эллипса. По мере удаления от этой полуоси зуб становится все более искаженным.

Поскольку прочность зубьев определяется их размерами и формой в нормальном сечении, а правильная их форма и размеры в этом сечении имеют место вблизи малой полуоси эллипса, то для получения эквивалентного прямозубого колеса следует заменить прямозубое колесо в виде эллипса цилиндрическим колесом с радиусом кривизны, равным радиусу кривизны эллипса в конце малой полуоси. Радиус кривизны эллипса в конце малой полуоси $r_v = a^2/b$ (аналитическая геометрия), который является также радиусом эквивалентного прямозубого цилиндрического колеса, т.е.

$$r_v = \frac{a^2}{b} = \frac{d^2}{4\cos^2\beta}\frac{2}{d} = \frac{d}{2\cos^2\beta},$$

откуда диаметры эквивалентных прямозубых цилиндрических колес

$$d_{v1(2)} = d_{1(2)}/\cos^2\beta. \qquad (1.8)$$

Приняв $d_v = m_n z_v$, имеем $m_n z_v = d/\cos^2\beta = m_n z/\cos^3\beta$, где $d = m_n z / \cos\beta$.

Следовательно, числа зубьев эквивалентных колес

$$z_{v1(2)} = z_{1(2)}/\cos^3\beta. \qquad (1.9)$$

Передаточное число эквивалентной цилиндрической прямозубой передачи $u_v = u$. С увеличением угла наклона линии зуба β эквивалентные параметры возрастают, повышая прочность передачи.

1.6.3. Шевронные передачи

Шевронные передачи являются модификацией косозубых цилиндрических передач (рис. 1.21).

Достоинства шевронных передач:

- полная компенсация осевых сил;
- угол наклона линии зуба β может быть больше, чем в косозубых передачах ($\beta = 30...40°$), что обеспечивает большую нагрузочную способность благодаря большему числу зубьев в зацеплении;
- компактность передачи.

Недостаток шевронных передач связан с особенностью их монтажа — для правильной их работы одно из колес (обычно

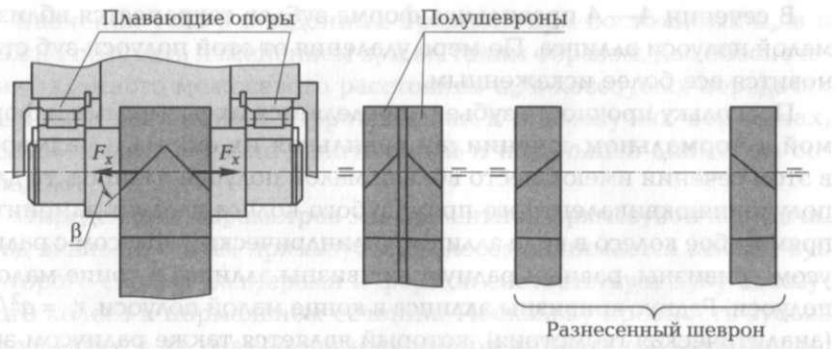


Рис. 1.21. Шевронная передача

шестерня) не должно иметь осевой фиксации, а быть плавающим в осевом направлении для уравновешивания осевых сил F_x в зацеплении.

Расчет шевронных передач аналогичен расчету косозубых цилиндрических передач. Коэффициент ширины зубчатого венца полного шеврона $\psi_{bd} \geq 2(1{,}1\pi \mathrm{ctg}\beta / z_1)$.

1.7. ЧЕРВЯЧНЫЕ ПЕРЕДАЧИ

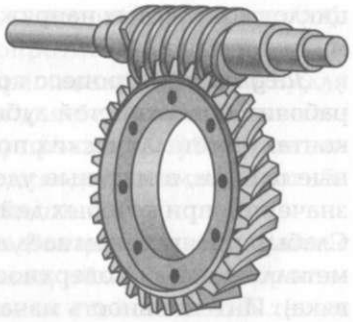
При увеличении в винтовой передаче ширины колеса z_1 и угла наклона линии зуба β_1 с одновременным уменьшением его диаметра, при числе зубьев от 1 до 4 они будут делать полный виток или даже несколько витков по окружности колеса, и винтовая шестерня при этом будет превращаться в цилиндрический червяк с углом подъема витка γ, где $\gamma = 90° - \beta_1$. Таким образом, получается червячная передача (рис. 1.22).

В зависимости от формы червяков различаются передачи с цилиндрическим (чаще применяемые) и глобоидным червяком.

По направлению передачи мощности, особенно при рассмотрении динамических процессов и КПД, бывает два вида режимов работы червячных передач:

- когда вращающий момент (и движение) передается от червяка колесу. Такой режим работы называется обычно двигательным режимом, режимом прямого хода или режимом прямого потока мощности;
- вращающий момент (и движение) передается от колеса червяку. Данный режим работы червячных передач называется обратным

Рис. 1.22. Червячная передача



режимом, тормозным или режимом обратного потока мощности.

По характеру работы при обратном режиме червячные передачи подразделяются на несамотормозящиеся, в которых возможна передача движения от колеса червяку, и на самотормозящиеся, когда поворот червяка от колеса невозможен, что позволяет выполнять механизм без тормозного устройства (в частности, в механизме подъема).

Достоинства червячных передач:

- высокая плавность и бесшумность работы;
- отсутствие ударов при зацеплении;
- большие передаточные числа;
- возможность получения самоторможения;
- возможность получения точных и малых перемещений.

Недостатки червячных передач:

- скольжение профилей зубьев червячного колеса и витков червяка, повышенные изнашивание и нагрев, а также склонность к заеданию;
- низкий КПД;
- необходимость применения дорогих антифрикционных материалов.

Виды разрушений и критерии работоспособности червячных передач. Характерными особенностями червячных передач являются повышенное скольжение профилей и неблагоприятные условия для образования масляного клина.

При скольжении поверхностей зубьев червячного колеса и витков червяка создается определенная зона их зацепления с неблагоприятными условиями для создания масляного клина. Более благоприятные условия имеются со стороны выхода червяка из зацепления.

В связи с этим основными видами повреждения зубьев колеса являются контактные разрушения в виде усталостного выкрашивания или заедания, начинающиеся в указанной зоне.

Усталостное изнашивание (питтинг, или выкрашивание) — процесс разрушения поверхностного слоя рабочих поверхностей зубьев колеса, который происходит в результате возникновения и развития микротрещин, вызванных многократным действием

циклов контактных напряжений (многократным деформированием микрообъемов).

Заедание — процесс возникновения и развития повреждений рабочих поверхностей зубьев колеса вследствие схватывания, т. е. контакта металлических поверхностей, когда разрушаются защитные пленки, а местные удельные давления в контакте достигают значений, при которых действуют силы молекулярного сцепления. Слабым проявлением заедания является малоинтенсивный перенос металла с одной поверхности (зуба колеса) на другую (виток червяка). Интенсивность изнашивания при этом мала, но оно может привести к задиру, т. е. к повреждениям в виде рисок (борозд) глубиной 100 ... 200 мкм, направленных коллинеарно вектору скорости относительного движения.

Данные виды разрушения зависят от характеристик материалов червячного колеса и червяка. Опасность заедания возрастает с увеличением твердости контактирующих поверхностей. В этом случае ресурс работы передачи становится трудно прогнозируемым.

При сочетании твердого и мягкого материалов контактирующих поверхностей, например, стальной червяк и венец червячного колеса из антифрикционных материалов (бронза или латунь), заедание проявляется в менее опасной форме — в виде переноса или «намазывания» мягкого материала зубьев колеса на витки червяка. Устранение заедания не исключает износ зубьев колеса и усталостное выкрашивание их поверхностей.

Усталостное выкрашивание и заедание определяют нагрузочную способность червячных передач, как правило, при средних уровнях контактных напряжений с долговечностью 4 000 ... 8 000 ч или при высоких уровнях напряжений и меньших значениях долговечности.

Изгибная прочность червячных передач определяется сопротивлением поломкам, которые могут происходить в результате дефектов изготовления (например, при наличии раковин в зубьях колеса) или уменьшения прочности зубьев колеса вследствие износа.

Данный вид разрушения проявляется главным образом при нестационарных режимах, характеризующихся большой частотой включений при значительных перегрузках, а также в случае непрерывного режима работы при передаточных числах $u \geq 50$. Изгибная прочность может ограничивать нагрузочную способность передач на низких частотах вращения червяка.

К параметрам, которые определяют нагрузочную способность червячного редуктора в целом, относятся «термическая мощность», т. е. нагрузка, предельно допустимая по температуре масла, и допустимый прогиб червяка.

Таким образом, критериями, определяющими работоспособность червячных передач, являются сопротивление контактным разрушениям в виде усталостного выкрашивания (питтинга) для высокооловянных бронз или заедания для безоловянных высокопрочных бронз, изломная (изгибная) прочность зубьев, теплостойкость и жесткость червяка по условию допустимого прогиба $|f| = (0{,}005...0{,}008)m$, где m — модуль зацепления.

Материалы для червячных передач. ***Венцы червячных колес*** рекомендуется изготовлять из материалов, обладающих хорошими антифрикционными и антизадирными свойствами. К таким материалам относятся бронзы, латуни, чугуны, композиционные металлокерамические материалы, пластмассы и некоторые виды древесно-слоистых пластиков. Материалы, применяемые для изготовления венцов червячных колес, можно условно разделить на три группы.

Группа I. Высокооловянные (6...10 % Sn) бронзы, содержащие кроме олова в качестве основных компонентов фосфор, свинец, цинк, никель, а в отдельных случаях и сурьму, обладают низкой прочностью ($\sigma_в \le 310$ МПа), но хорошими антизадирными свойствами. Их применение вследствие дефицитности и высокой стоимости олова ограничивается ответственными и быстроходными передачами ($v_S > 10$ м/с). Особенностью этих материалов является мягкое заедание даже при работе червячных передач со значительными перегрузками, характеризуемое тем, что протекает оно в виде повышенного износа, а не задира.

Бронзы с меньшим содержанием олова (3...6 % Sn) имеют противозадирные свойства хуже, чем высокооловянные бронзы, особенно при высоких скоростях скольжения.

Группа II. Безоловянные бронзы и латуни широко используются как заменители оловянной бронзы при скоростях скольжения передач — $v_S < 5$ м/с. Лучшими противозадирными свойствами обладают хорошо прирабатывающиеся (в паре с закаленным и шлифованным червяком) бронзы и латуни с невысокой прочностью ($\sigma_в$ = 300...350 МПа).

Червячные колеса из более прочных алюминиево-железистых бронз при $\sigma_в$ = 400 МПа прирабатываются значительно хуже, и процесс выравнивания нагрузки по длине зубьев получается длительным, поэтому без продолжительной приработки при работе с полной нагрузкой возможно проявление заедания. При эксплуатации определенных пар червячных передач подбираются материалы для венцов червячных колес исходя из условий эксплуатации агрегата.

Группа III. В данную группу входят относительно мягкие серые чугуны и более твердые высокопрочные чугуны, у которых предельная допускаемая скорость скольжения (при стандартной геометрии зубьев червячного колеса) не превышает 2 м/с, в редких случаях 2...3 м/с. При хромированных червяках, работающих в паре с колесами из серых чугунов, допускается скорость до 5 м/с. Желательно применять серые чугуны с твердостью 140...180 НВ.

Червяки изготавливаются из стали марок 45, 40Х и 40ХН — улучшение до твердости менее 350 НВ с последующим полированием или закалка ТВЧ до твердости 48...54 HRC; 20Х, 12ХН3А и 18ХГТ — цементация и закалка до 57...63 HRC (с последующим шлифованием червяка); 15ХФ, 38Х2Ю и 38Х2МЮА — азотирование до 62...65 HRC (без последующего шлифования червяка).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные способы создания предварительного натяжения ременной передачи.
2. Каким видам разрушений чаще всего подвержены приводные цепи?
3. Каковы основные требования к материалам фрикционных катков?
4. Какие зубчатые передачи различаются в зависимости от профиля зубьев колес?
5. В чем различия между силовыми и несиловыми (кинематическими) зубчатыми передачами?
6. В чем заключается процесс «заедания» зубчатой передачи и можно ли провести его предварительный расчет?
7. Назовите основные преимущества косозубых передач по сравнению с прямозубыми.
8. Назовите виды разрушений и критерии работоспособности червячных передач.

Глава 2

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

2.1. МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

2.1.1. Общая классификация металлорежущих станков

Металлорежущие станки — машины, с помощью которых путем снятия стружки с заготовки получаются детали заданной формы с требуемой точностью размеров. Совокупность всех типов и размеров выпускаемых станков называется типажом.

По степени специализации металлорежущие станки подразделяются:

- на *универсальные*, предназначенные для выполнения разнообразных работ на деталях широкой номенклатуры;
- *широкого назначения*, используемые для выполнения определенных операций на деталях нескольких наименований;
- *специализированные*, предназначенные для обработки однотипных деталей одного наименования, но разных размеров (например, зубообрабатывающие станки) и применяемые в серийном и крупносерийном производстве;
- *специальные*, предназначенные для обработки детали одного конструктивного исполнения и одного типоразмера (например, изготовление коленчатых валов и др.) и применяемые в крупносерийном и массовом производстве.

2.1.2. Общие сведения о металлорежущих станках

По классификации экспериментального научно-исследовательского института металлорежущих станков (ОАО «ЭНИМС»), созданного в 1933 г., все станки, выпускаемые серийно, подразделяются на девять групп (табл. 2.1). Каждая группа включает в себя несколько типов станков (табл. 2.2). Модель металлорежущего станка обозначается:

Таблица 2.1. Классификация металлорежущих станков

Наименование станков	Группа	Тип			
		1	2	3	4
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы		Револьверные	—
		одношпиндельные	многошпиндельные		
Сверлильные и расточные	2	Вертикально-сверлильные	—	—	—
Шлифовальные, полировальные, доводочные	3	Круглошлифовальные	Внутришлифовальные	Обдирочно-шлифовальные и торцошлифовальные	Специализированные шлифовальные
Станки для электрофизической и электрохимической обработки; комбинированные	4	Универсальные	Полуавтоматы	Автоматы	Электрохимические
Зубо- и резьбообрабатывающие	5	Зубодолбежные для обработки цилиндрических колес	Зуборезные для обработки конических колес	Зубофрезерные для обработки цилиндрических колес и шлицевых валов	Зубофрезерные для нарезания червячных колес
Фрезерные	6	Вертикально-фрезерные консольные	Фрезерные непрерывного действия	Продольно-фрезерные одностоечные	Копировальные и гравировальные
Строгальные, долбежные и протяжные	7	Продольно-строгальные		Поперечно-строгальные	Долбежные
		одностоечные	двухстоечные		
Разрезные	8	Отрезные, работающие			—
		токарным резцом	абразивным кругом	фрикционным диском	
Разные	9	Муфто- и трубообрабатывающие	Пилонасекательные	Правильно- и бесцентрово-обдирочные	—

Таблица 2.2. Типы станков

Тип				
5	6	7	8	9
Карусельные	Токарные, токарно-винторезные и лобовые	Многорезцовые	Специализированные	Разные токарные
Радиально-сверлильные	Горизонтально-расточные	Отделочно-расточные	Горизонтально-сверлильные и центровальные	Разные сверлильные
—	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные, полировальные и хонинговальные	Разные станки, работающие абразивом

Окончание табл. 2.2

Тип				
5	6	7	8	9
Электроискровые	—	Электроэрозионные, ультразвуковые	Анодно-механические	—
Для обработки торцов зубьев колес	Резьбофрезерные	Зубозаделочные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубообрабатывающие
Вертикально-бесконсольные	Продольно-фрезерные двухстоечные	Широкоуниверсальные	Горизонтальные консольные	Разные фрезерные
Протяжные горизонтальные	Протяжные вертикальные		—	Разные строгальные
	для внутреннего протягивания	для наружного протягивания		
—	Дисковые пилы	Ножовочные пилы	—	—
—	Делительные машины	Балансировочные	—	—

- порядковыми цифрами группы по типу выполняемых им работ и типу, характеризующему его назначение;
- одна или две последующих цифры указывают на основные типоразмеры, характерные для каждого станка:
  - ✓ токарные характеризуются максимальным диаметром обработки над станиной, определяющим высоту центров, мм:

$$H_{\text{ц}} = \frac{D_{\max}}{2};$$

  - ✓ сверлильные — условным максимальным диаметром сверления незакаленной стали марки 40;
  - ✓ фрезерные — шириной стола, определяемой номером, мм;
  - ✓ расточные — наружным диаметром шпинделя, мм;
  - ✓ токарно-револьверные — максимальным диаметром прутка, зажимаемого цангой и проходящего через отверстие шпинделя, мм;
  - ✓ долбежные — максимальной длиной хода ползуна, мм;
  - ✓ протяжные — максимальным тяговым усилием, развиваемым станком, Н.

В настоящее время для металлорежущих станков широко используется геометрический ряд *R*10 по ГОСТ 8032—84 с коэффициентом 1,26, определяющий их основные параметры (для крупных станков он может быть меньше).

Буква между цифрами указывает на модернизацию станка, а буква в конце — на модификацию (видоизменение) базовой модели станка или его технологические особенности (например, повышенной точности).

Так, например, станок модели 2Н135 обозначает следующее:

- цифра 2 — сверлильный;
- Н — модернизированный; 1 — вертикально-сверлильный;
- 35 (последние две цифры) означают максимальный диаметр сверления — 35 мм.

По степени автоматизации станки разделяются:

- на *автоматические*, способные полностью обработать партию деталей в автоматическом режиме;
- *полуавтоматические*, способные в автоматическом режиме обрабатывать одну деталь;
- *ручные*, требующие вмешательства оператора в процессе обработки детали.

В табл. 2.3 приведена классификация металлорежущих станков по степени точности.

На рис. 2.1 показаны компоновки металлорежущих станков.

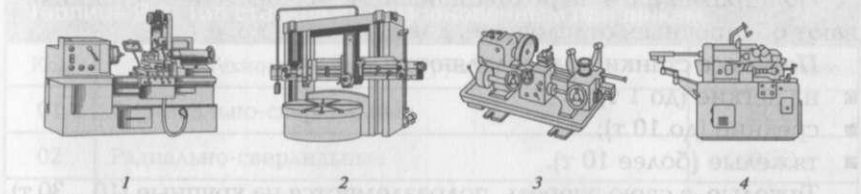
Таблица 2.3. Классификация металлорежущих станков по степени точности

Классы точности	Особенности металлорежущих станков	Соотношение допусков
Н — нормальной точности	Большинство металлорежущих станков, обеспечивающих обработку деталей 2-го класса точности	1,0
П — повышенной точности	На базе станков нормальной точности с более качественным изготовлением деталей сопряжений (опор и направляющих)	1,6
В — высокой точности	Обеспечивается специальной конструкцией элементов и высоким качеством их изготовления	1,6[2]
А — особо высокой точности	С более высокой точностью изготовления деталей	1,6[3]
С — особоточные	Специальные мастер-станки для изготовления точных деталей, делительных и эталонных зубчатых колес, измерительных винтов	—
Т — сверхвысокого класса точности	Погрешность 0,3 мкм	—
К — более высокого класса точности	Погрешность 0,1 мкм	—

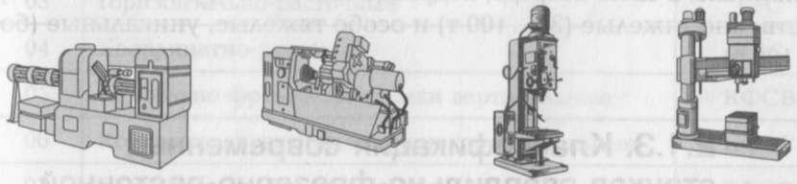
Примечание. Станки классов В, А, С, Т и К являются прецизионными, устанавливаемыми в специальных помещениях.

Рис. 2.1. Компоновки металлорежущих станков:

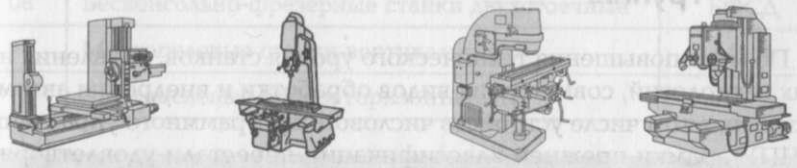
1 — токарно-винторезный; *2* — двухстоечный токарно-карусельный; *3* — токарно-револьверный; *4* — одношпиндельный токарно-револьверный автомат; *5* — многошпиндельный токарный автомат; *6* — токарный многорезцовый гидрокопировальный полуавтомат; *7* — вертикально-сверлильный; *8* — радиально-сверлильный; *9* — горизонтально-расточный; 10 — координатно-расточный; *11* — консольный вертикально-фрезерный; *12* — бесконсольный вертикально-фрезерный; *13* — продольно-фрезерный; *14* — копировально-фрезерный полуавтомат; *15* — поперечно-строгальный станок (шепинг); *16* — двухстоечный продольно-строгальный; *17* — долбежный; *18* — горизонтально-протяжной; *19* — двухпозиционный вертикально-протяжной; *20* — круглошлифовальный; *21* и *22* — плоскошлифовальные; *23* и *24* — универсально-заточные



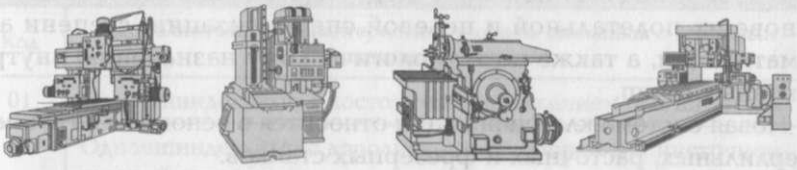
1 2 3 4



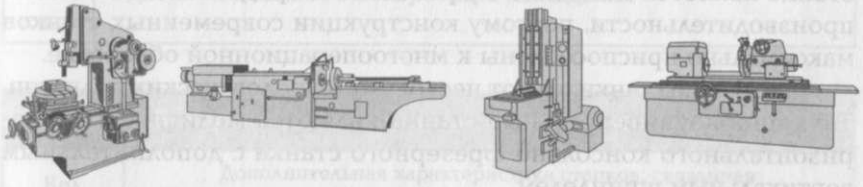
5 6 7 8



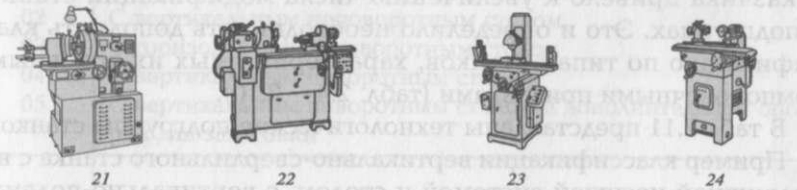
9 10 11 12



13 14 15 16



17 18 19 20



21 22 23 24

984466

По параметрам шероховатости металлорежущие станки бывают обдирочные, отделочные, доводочные и др.

По массе станки подразделяются:

- на легкие (до 1 т);
- средние (до 10 т);
- тяжелые (более 10 т).

Тяжелые, в свою очередь, подразделяются на крупные (10...30 т), собственно тяжелые (30...100 т) и особо тяжелые, уникальные (более 100 т).

2.1.3. Классификация современных станков сверлильно-фрезерно-расточной группы

По мере повышения технического уровня станков, появления новых технологий, совмещения видов обработки и внедрения автоматизации, в том числе устройств числового программного управления (УЧПУ), рамки прежней классификации перестали удовлетворять требованиям станкостроения и машиностроения в целом.

В 1980 г. начался новый подход к классификации станков на основе их подетальной и целевой специализации, степени автоматизации, а также по технологическому назначению внутри основных групп.

Новая система классификации относится в основном к группам сверлильных, расточных и фрезерных станков.

Концентрация различных видов обработки деталей на одном станке является наиболее эффективным средством повышения производительности, поэтому конструкции современных станков максимально приспособлены к многооперационной обработке.

Фрезерные станки имеют несколько технологических подгрупп. Так, широкоуниверсальные станки являются модификацией горизонтального консольно-фрезерного станка с дополнительным вертикальным шпинделем.

Стремление к максимальному удовлетворению требований заказчика привело к увеличению числа модификаций станков в подгруппах. Это и определило необходимость дополнить классификацию по типам станков, характеризуемых их основными компоновочными признаками (табл. 2.4—2.10).

В табл 2.11 представлены технологические подгруппы станков.

Пример классификации вертикально-сверлильного станка с неподвижной несущей системой и столом, с вертикально-подвиж-

Таблица 2.4. Тип станков по компоновочным признакам

Код	Технологическая подгруппа станков	Обозначение
01	Вертикально-сверлильные	ВСС
02	Радиально-сверлильные	РСС
03	Горизонтально-расточные	ГРС
04	Координатно-расточные	КРС
05	Консольно-фрезерные станки вертикальные	КФСВ
06	Консольно-фрезерные станки горизонтальные	КФСГ
07	Бесконсольно-фрезерные станки одностоечные	БФСО
08	Бесконсольно-фрезерные станки двухстоечные	БФСД
09	Многоцелевые станки вертикальные	МСВ
10	Многоцелевые станки горизонтальные	МСГ

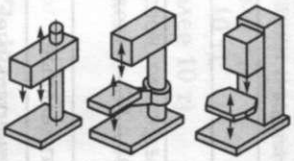
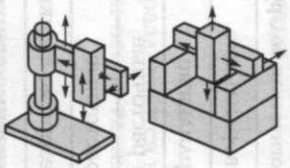
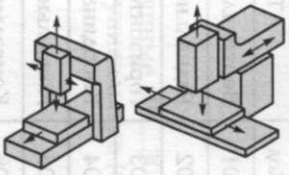
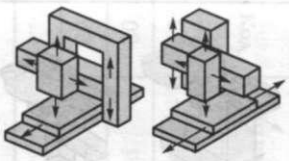
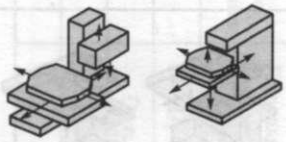
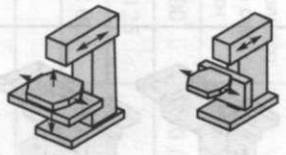
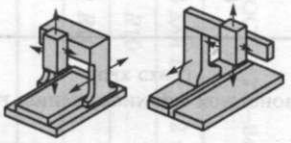
Таблица 2.5. Характеристика станков по компоновочным особенностям шпиндельного узла

Код	Дополнительная характеристика станков, связанная с основным шпиндельным узлом
01	Одношпиндельные с постоянным положением оси шпинделя
02	Одношпиндельные с дополнительной опорой для инструментальной оправки
03 и т. д.	Одношпиндельные с поворотным шпинделем

Таблица 2.6. Характеристика станков по особенностям столов

Код	Дополнительная характеристика станков, связанная с особенностями стола
01 02 03 04 05	С горизонтальным неповоротным столом С вертикальным неповоротным столом С горизонтальным поворотным столом С вертикальным поворотным столом С вертикальным поворотным столом и дополнительной опорой для заготовки
...	...

Таблица 2.7. Тип станков по перемещениям узлов

Код	Перемещения несущей системы	Перемещения стола	Перемещения шпиндельного узла	Типы станка (примеры компоновочных схем)
01 ВСС	Неподвижная колонна (стойка)	Неподвижный и (или) вертикально-подвижный	Вертикально-подвижный	
02 РСС	Неподвижная колонна (станина) с поворотной или подвижной траверсой	Неподвижный и (или) вертикально-подвижный	Крестово-подвижный	
03 ГРС	Неподвижная стойка (портал)	Продольно-подвижный	Крестово-подвижный	
04 КРС	Неподвижная стойка (портал) с вертикально-подвижной поперечиной	Продольно-подвижный	Крестово-подвижный	
05 КФСВ	Неподвижная стойка	Крестово-подвижный в горизонтальной плоскости	Неподвижный или вертикально-подвижный	
06 КФСГ	Неподвижная стойка	Крестово-подвижный в вертикальной плоскости	Горизонтально-подвижный	
07 БФСО	Продольно-подвижная колонная стойка (портал)	Неподвижный	Крестово-подвижный	

Окончание табл. 2.7

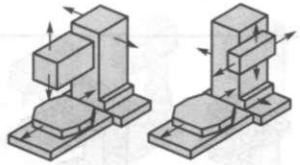
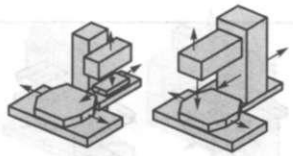
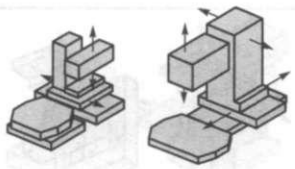
Код	Перемещения несущей системы	Перемещения стола	Перемещения шпиндельного узла	Типы станка (примеры компоновочных схем)
08 БФСД	Продольно-подвижная стойка	Поперечно-подвижный	Вертикально- или крестово-подвижный	
09 МСВ	Поперечно-подвижная стойка	Продольно-подвижный	Вертикально- или крестово-подвижный	
10 МСГ	Крестово-подвижная стойка	Неподвижный	Вертикально- или крестово-подвижный	

Таблица 2.8. Основные параметры станков

Код	Технологическая подгруппа	Пределы основного параметра по стандартам, мм	Ряд по ГОСТ 8032—84
01	ВСС	$D_1 = 3...80$	$R10$ ($R10/3$ для $D_1 \leq 12$ мм)
02	РСС	$D_2 = 25...125$	$R10$
03	ГРС	$B = 250...2\,000$	$R10$
...	...	...	...

Таблица 2.9. Уровень автоматизации станков

Код	Уровень автоматизации станков	Принятое обозначение
01	Станки с ручным управлением	РУ
02	Станки с ручным управлением и визуализацией цифрового отсчета координат	Ф1
03	Станки с ручным управлением и элементами программного управления	Ф2Н
04	Полуавтоматы с цикловым управлением	ПА
...	...	...

Таблица 2.10. Классификация станков по нормам точности

Техническая подгруппа	Станки нормальной точности (Н)		Высокоточные станки (В)		Особоточные станки (С)
	Классификация точности по ГОСТ 8—82				
	Н	П	В	А	С
ВСС	+	+			
РСС	+				
ГРС	+	+			
КРС				+	+
КФСВ	+	+	+		

Окончание табл. 2.10

Техническая подгруппа	Станки нормальной точности (Н)		Высокоточные станки (В)		Особоточные станки (С)
	Классификация точности по ГОСТ 8—82				
	Н	П	В	А	С
КФСГ	+	+	+		
БФСО	+	+			
БФСД	+	+			
МСВ		+		+	
МСГ		+		+	

Примечание. Различие станков нормальной точности от высокоточных и высокоточных от особоточных по точности в 1,6 раза.

ным шпиндельным узлом, двухшпиндельного, с дополнительным неподвижным откидным столом, с диаметром сверления 18 мм, с ручным управлением и визуально-цифровым отсчетом координат, нормальной точности: 01.01.09.07.01.Ф1.Н.

Таблица 2.11. Подгруппы металлорежущих станков

Технологическая подгруппа	Тип станка (по табл. 2.4)	Особенности шпиндельного узла (по табл. 2.5)	Особенности стола (по табл. 2.6)	Уровень автоматизации (по табл. 2.9)	Уровень точности (по табл. 2.3)
ВСС	01 04 05	01; 09 01 01; 08	01; 07; 08 01 01	РУ; Ф1; Ф2Н Ф4; МФ4 Ф2	Н Н Н
РСС	02 07	01; 03; 04 01	01; 08 01	РУ; Ф1 РУ; Ф1	Н Н
ГРС	05 08 09	01; 02 01 01	03 03 03	РУ; Ф2Н; Ф4 Ф1; Ф2; Ф4 Ф4; МФ4; М1Ф4	Н Н Н
КРС	04 05	01; 05 01	01 01	РУ; Ф1; Ф4; РУ; Ф2Н; Ф4; МФ4	С ВС

В станочном парке нашей страны токарные станки занимают одно из ведущих мест. Токарно-винторезные станки предназначены для выполнения разнообразных операций. На них можно обтачивать наружные и растачивать внутренние цилиндрические, конические и фасонные поверхности, прорезать различного профиля канавки, сверлить, зенкеровать и развертывать отверстия, нарезать наружные, внутренние и торцевые резьбы плашками, метчиками и резьбовыми резцами, однозаходные и многозаходные с нормальным и увеличенным шагом, отрезать готовые детали и т.д.

2.2. ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫЕ СТАНКИ

К ***основным параметрам*** токарно-винторезных станков относятся:

- наибольший диаметр обрабатываемой заготовки над станиной и над суппортом;
- наибольший диаметр прутка, проходящий через отверстие шпинделя;
- наибольшее расстояние между центрами, определяющее наибольшую длину обрабатываемой детали;
- пределы частот вращения шпинделя от n_{min} до n_{max};
- пределы подач суппортов;
- посадочный размер конуса переднего конца шпинделя;
- мощность привода;
- габаритные размеры станков.

Серийный выпуск отечественных токарно-винторезных станков начался с 1932 г. на заводе «Красный пролетарий» в Москве. Первым был изготовлен токарно-винторезный станок модели ДИП-200 («Догоним и перегоним») с высотой центров 200 мм. Затем выпускались модели 1Д62, 1А62, 1К62 и 16К20.

Структурная схема станка модели 16К20 показана на рис. 2.2.

На базе станков модеди 16К20 выпускались модели 16К25, 16К20П, 16К20Ф3 с ЧПУ и др. По расстоянию между центрами станки выпускались с длиной 710; 1 000; 1 400; 2 000 мм и по диаметру обработки (D_{max}) от 100 до 1 250 мм со знаменателем геометрического ряда частот вращения шпинделя $\varphi = 1{,}26$ и 1,25.

Структура при нарезании резьбы С12 с формообразующим движением $\Phi_v(B_1П_2)$ и при токарной обработке Э22 — $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_S(П_2)$.

Токарно-винторезный станок модели 16К20 (рис. 2.3) применяется в единичном и мелкосерийном производстве.

Технические характеристики токарно-винторезного станка модели 16К20

Максимальный диаметр обработки:
- над станиной, мм 400
- суппортом, мм 220

Максимальный диаметр обрабатываемого прутка, мм 50
Число ступеней частот вращения шпинделя 22
Пределы частот вращения шпинделя, об/мин ..... 12,5 ... 1 600
Пределы подач суппортов:
- продольного, мм/об ..... 0,05 ... 2,8
- поперечного, мм/об ..... 0,25 ... 1,4

Шаг нарезаемой резьбы:
- метрической, мм ..... 0,5 ... 11,2
- модульной, мм ..... 0,5 ... 11,2
- дюймовой, ниток на дюйм ..... 56 ... 0,5
- питчевой, питчей на дюйм ..... 56 ... 0,8

Мощность привода главного движения, кВт 10

Структурная формула главного движения:

$$Zd = (2_1 \cdot 3_2 \cdot 2_6 + 2_1 \cdot 3_2 \cdot 2_6 \cdot 1 \cdot 1) - 2 = 22.$$

На рис. 2.4 представлена кинематическая схема станка модели 16К20, на которой можно определить по цепи главного движения и подач скорости движения узлов станка. Для этого составляется ***уравнение кинематического баланса*** — математическая зависимость перемещения конечных звеньев:

$$n_{эл.дв} i_{р.п} k i_v = n_{шп},$$

где $n_{эл.дв}$ — число оборотов электродвигателя в мин; $i_{р.п}$ — передаточное отношение ременной передачи; k — коэффициент проскальзывания ремня; i_v — передаточное отношение коробки скоростей; $n_{шп}$ — число оборотов шпинделя в минуту.

Уравнение кинематического баланса цепи (Б — блоки зубчатых колес):

$$\underset{Б_1}{1450\frac{154}{258}\left[\frac{56}{34} \text{ или } \frac{51}{39}\right]} \underset{Б_2}{\left[\frac{29}{47} \text{ или } \frac{21}{55} \text{ или } \frac{38}{38}\right]} \underset{Б_3}{\left[\frac{\left[\frac{45}{45} \text{ или } \frac{15}{60}\right]\frac{18}{72}\left[\frac{30}{60}\right]}{\text{или } \left[\frac{60}{48}\right]}\right]} \underset{Б_4}{} = n_{шп}.$$

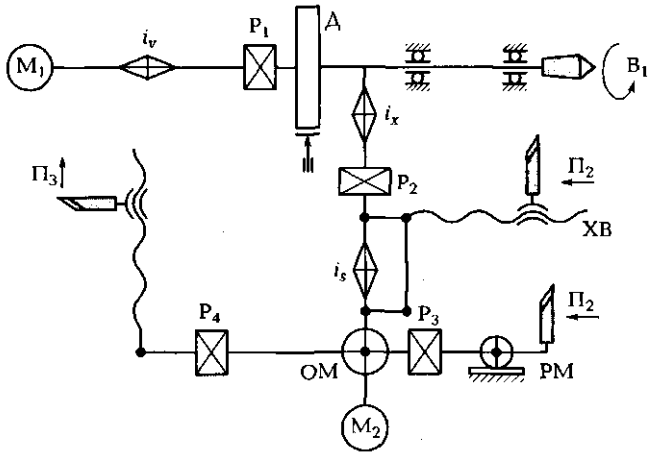


Рис. 2.2. Структурная схема станка модели 16К20:

Д — делительный механизм для обеспечения нарезания многозаходных резьб; $В_1$ — главное движение вращения шпинделя; $П_2$ — перемещение суппорта в продольном направлении; $П_3$ — поперечное перемещение суппорта; ХВ — ходовой винт; РМ — реечный механизм; ОМ — обгонная муфта; $М_1$ — двигатель главного движения; $М_2$ — двигатель ускоренных подач; $Р_1$, $Р_2$, $Р_3$ и $Р_4$ — передаточные редукторы

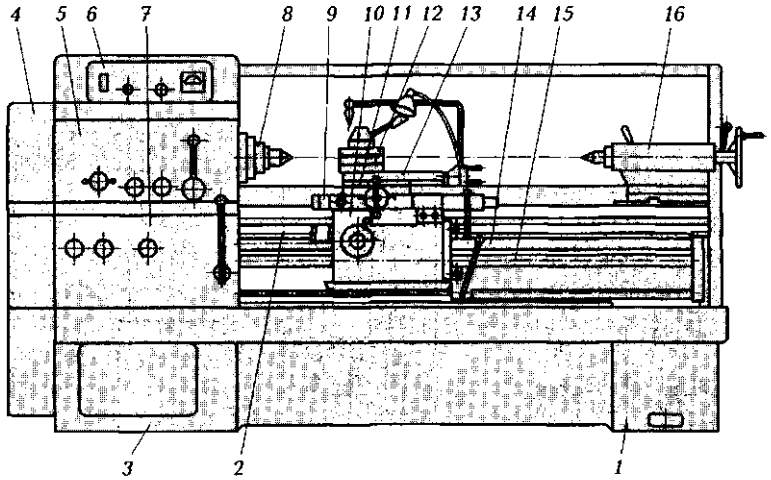


Рис. 2.3. Токарно-винторезный станок модели 16К20:

1 и *3* — задняя и передняя тумбы; *2* — станина; *4* — защитный кожух; *5* — передняя бабка с коробкой скоростей; *6* — пульт управления; *7* — коробка подач; *8* — шпиндель; *9* — фартук; *10* — продольный суппорт; *11* — поперечные салазки; *12* — резцедержатель; *13* — верхние салазки; *14* — ходовой винт; *15* — ходовой вал; *16* — задняя бабка

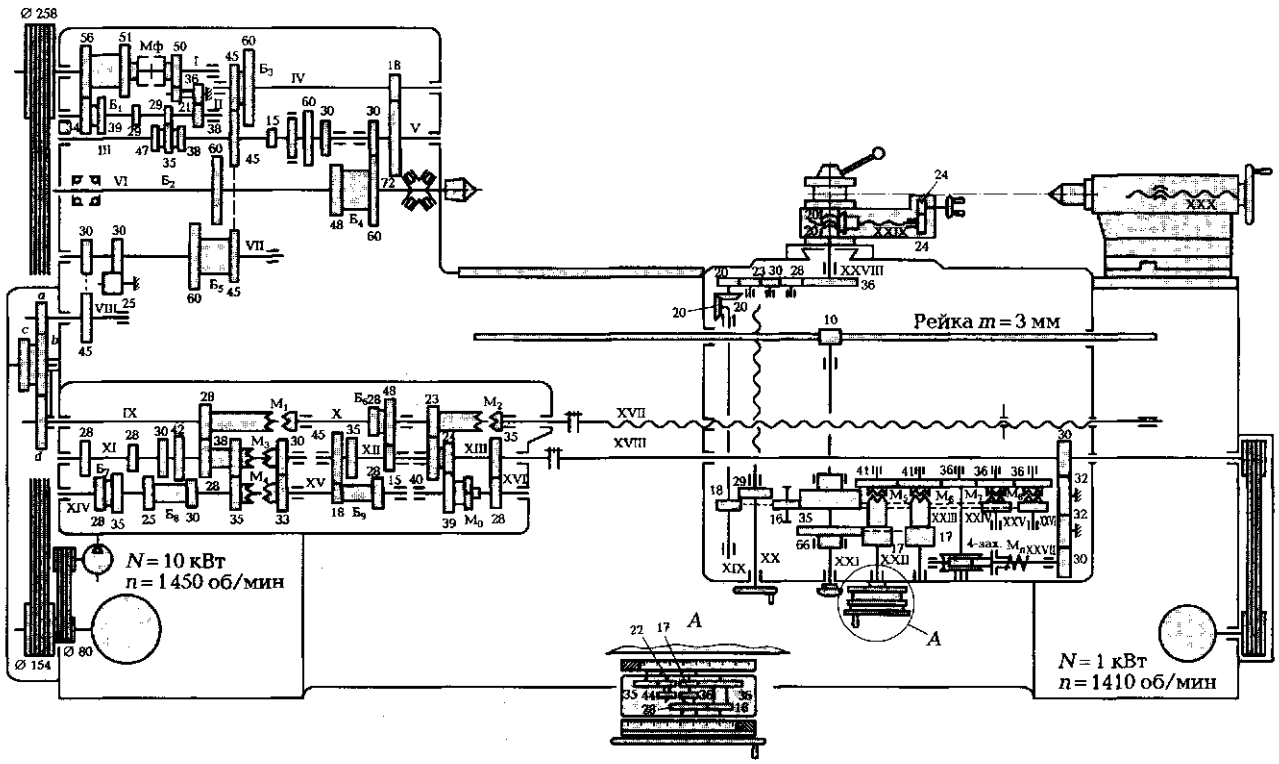


Рис. 2.4. Кинематическая схема токарно-винторезного станка модели 16К20

Настройка на подачи суппортов при токарной обработке и нарезании стандартных резьб производится переключением блоков и механизмов коробки подач i_s и настройкой гитары сменных зубчатых колес i_x. Нарезание специальных и точных резьб производится только настройкой гитары сменных зубчатых колес, минуя механизмы переключения в коробке подач, причем один оборот шпинделя должен соответствовать $\frac{t_н}{t_{хв}}$ оборотов ходового винта, где $t_н$ — шаг нарезаемой резьбы; $t_{хв}$ — шаг ходового винта.

Для нарезания резьбы с увеличенным шагом ($t_н > 12$ мм) используется звено увеличения шага. Для нарезания многозаходных резьб шпиндель поворачивается на величину делений на диске Д (см. рис. 2.2).

При настройке на токарную обработку конечными звеньями цепи являются шпиндель и реечная шестерня. Один оборот шпинделя должен соответствовать $\frac{S}{(nmz)}$ оборотов реечной шестерни, где S — подача, мм/об; m — модуль; z — число зубьев реечной шестерни.

Специализированные токарно-лобовые станки фронтальной компоновки применяются в мелкосерийном и серийном производстве для обработки деталей большого диаметра и малой длины (типа дисков, фланцев, шайб и др.).

2.3. ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫЕ СТАНКИ

На токарно-револьверных станках можно выполнять все основные токарные операции в серийном и крупносерийном производстве. Они предназначены для патронной или прутковой обработки. Для установки и закрепления прутка применяются цанги, изготовленные из пружинной стали (рис. 2.5).

К станкам малого размера относятся прутковые, среднепрутковые, патронные и крупнопатронные.

Токарно-револьверные станки не имеют ходового винта и задней бабки. На продольном суппорте устанавливаются револьверные головки.

Токарно-револьверный станок модели 1П365 показан на рис. 2.6. Этот станок применяется в крупносерийном производстве. Кроме основного токарного суппорта он имеет револьверный суппорт с шестипозиционной револьверной головкой, имеющей вертикаль-

ную ось вращения. Установка заготовки производится в цанге или патроне.

Технические характеристики станка модели 1П365

Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, мм 65
Наибольший диаметр заготовки:
над станиной, мм 500
суппортом, мм 320

Обработка деталей на токарно-револьверных станках производится по упорам. Суппорты могут работать последовательно или параллельно. Каждый суппорт имеет отдельный ходовой вал и один

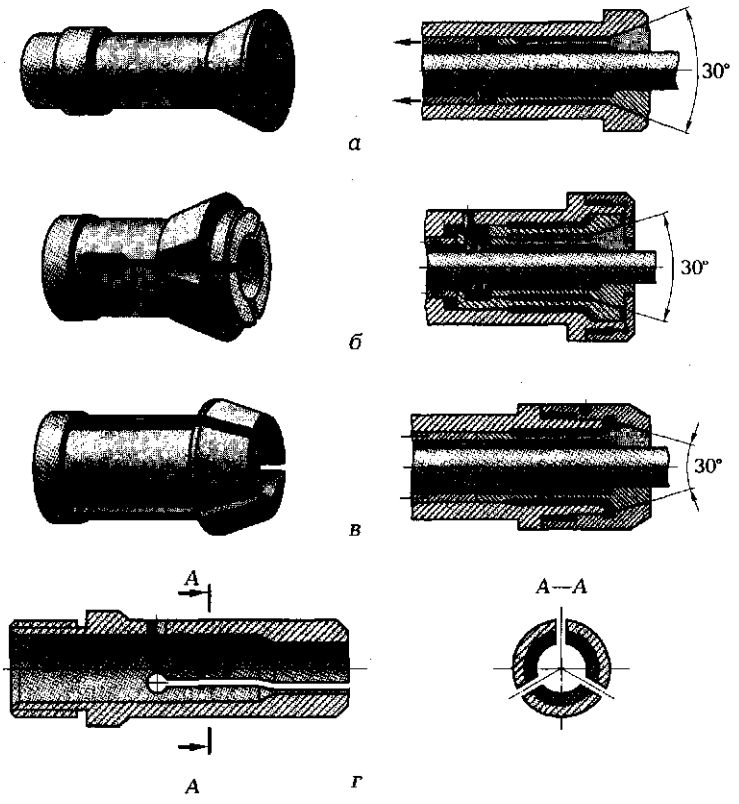


Рис. 2.5. Цанги:
а — затяжная; *б* — неподвижная; *в* — выдвижная; *г* — подающая

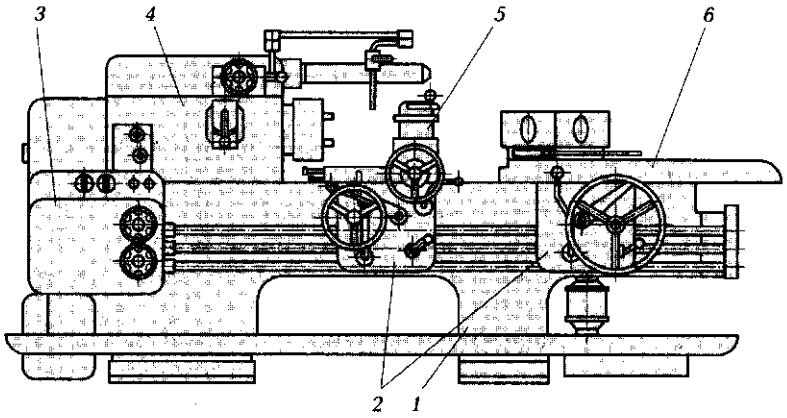


Рис. 2.6. Токарно-револьверный станок модели 1П365:

1 — станина; *2* — фартуки; *3* — коробка подач; *4* — корпус передней бабки с коробкой скоростей; *5* — поперечный суппорт; *6* — суппорт револьверной головки

общий, расположенный между ними для ускоренного перемещения обоих суппортов от отдельного электродвигателя.

2.4. СТАНКИ СВЕРЛИЛЬНО-РАСТОЧНОЙ ГРУППЫ

Вертикально-сверлильные станки применяются во всех отраслях промышленности в единичном и мелкосерийном производстве (ремонтно-механические, инструментальные и другие лаборатории, мастерские, цехи и т.д.) для сверления, рассверливания, зенкерования, развертывания, цекования и нарезания резьбы метчиками. В зависимости от вида производства к этим станкам предъявляются различные требования:

- по универсальности (универсальные и специализированные);
- производительности;
- точности (нормальной и повышенной);
- степени механизации и автоматизации (автоматические, полуавтоматические, с программным управлением, с механической и ручной подачей шпинделя);
- числу рабочих шпинделей (одно- и многошпиндельные);
- типу стола (с обычным, поворотным или откидным, плавающим на телах качения и с крестовым столом в станках с числовым программным управлением);

- компоновке (типа «Кронштейн» (рис. 2.7, *а*) и типа «Агрегат» (рис. 2.7, *б*)).

Структурная схема вертикально-сверлильного станка показана на рис. 2.7, *в*.

Основными параметрами вертикально-сверлильных станков являются: $d_{усл}$ — наибольший диаметр сверления незакаленной стали 45 по ГОСТ 1227—79, равный 3; 6; 9; 12; 18; 25; 35; 50 и 75 мм; l — вылет шпинделя (расстояние от оси шпинделя до колонны), мм; l_1 — наибольший ход шпинделя, мм; l_2 — максимальное расстояние от торца шпинделя до стола, мм.

Такие станки применяются в крупносерийном и массовом производстве для последовательного сверления отверстий разного диаметра в одной детали или обработки одного отверстия разными инструментами.

Основными движениями вертикально-сверлильных станков являются: Φ_v (B_1) — вращение шпинделя (главное движение); Φ_S ($П_2$) — вертикальное перемещение шпинделя (подача); $Уст_1$ ($П_3$) — установочное перемещение коробки подач; $Уст_2$ ($П_4$) — установочное перемещение стола.

Базовыми моделями являются вертикально-сверлильные станки 2Н118, 2125 и 2135. На основе этих моделей выпускаются различные станки с модификацией узлов, например, 2Н118А — с автоматическим перемещением шпинделя; 2Н118Л — с заниженными силовыми характеристиками (упрощенные); 2Н118С — для установки многошпиндельной головки; 2Н118Н — станки без стола; 2Н118-2,

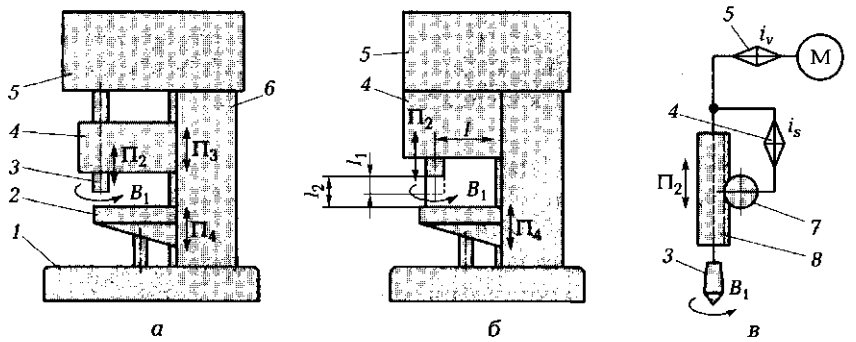
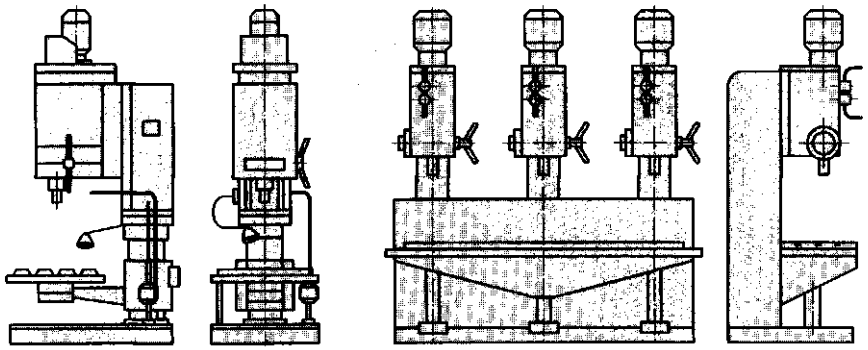


Рис. 2.7. Компоновка вертикально-сверлильных станков:

а — типа «Кронштейн»; *б* — типа «Агрегат»; *в* — структурная схема станка; *1* — основание; *2* — стол; *3* — шпиндель; *4* — коробка подач; *5* — коробка скоростей (шпиндельная головка); *6* — стойка; *7* — реечная шестерня; *8* — пиноль шпинделя



а *б*

Рис. 2.8. Вертикально-сверлильные станки:
а — однорядные; *б* — многорядные

2Н118-4 — многорядные (рис. 2.8) станки (последняя цифра указывает на число колонн).

В механизме вертикального перемещения шпинделя (рис. 2.9) поворотом рукоятки *1* «на себя» через штифт *2* и реечную шестерню $z = 13$ шпиндель вручную перемещается вниз. Когда инструмент упрется в обрабатываемую деталь, дальнейший поворот рукоятки *1* производится на 20° за счет зазора между штифтом *2* и в ступице «*g*». При этом выступ «*а*» находит на выступ «*б*» и правая полумуфта *3*, перемещаясь влево, соединяется с левой полумуфтой *7*, жестко соединенной с вращающимся червячным колесом $z = 60$. Ускоренное перемещение шпинделя рукояткой *1* производится за счет проскальзывания собачки *5* относительно храпового диска *6*. Вращение лимба *8* производится насаженной на вал *7* шестерней $z = 13$, зацепленной с внутренними зубьями шестерни $z = 38$.

Радиально-сверлильные станки предназначены для выполнения тех же операций, что и вертикально-сверлильные, но они более универсальны и имеют более развитую кинематику.

Основные формообразующие движения радиально-сверлильных станков: Φ_v ($В_1$) — вращение шпинделя (главное движение); Φ_S ($П_2$) — вертикальное перемещение шпинделя (подача). Установочные перемещения: $Уст_1$ ($П_3$) — вертикальное перемещение траверсы; $Уст_2$ ($П_4$) — горизонтальное перемещение шпиндельной бабки по траверсе; $Уст_3$ ($П_5$) — поворот траверсы (рис. 2.10).

Шпиндельная бабка или траверса некоторых станков может поворачиваться на 90° в вертикальной плоскости. Заготовка на столе

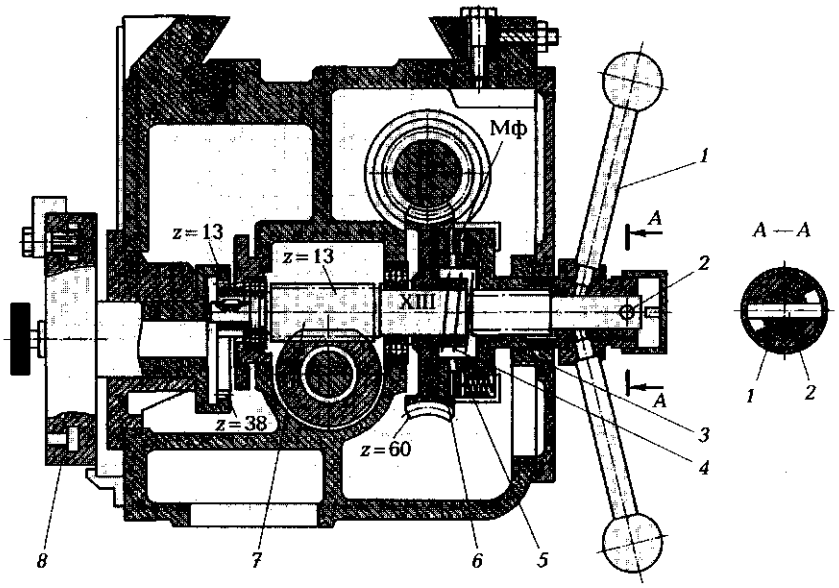


Рис. 2.9. Механизм перемещения шпинделя в вертикально-сверлильных станках:

1 — рукоятка со ступицей; *2* — штифт; *3* — правая полумуфта; *4* — пружина; *5* — собачка; *6* — полумуфта с храповым диском; *7* — вал; *8* — лимб; Мф — муфта

устанавливается неподвижно, а относительно нее перемещается инструмент в горизонтальной плоскости движением шпиндельной бабки *5* и поворотом траверсы *4* со стойкой *3*, поэтому на радиально-сверлильных станках можно обрабатывать крупногабаритные корпусные детали.

Перемещение шпинделя вручную (рис. 2.11) осуществляется вращением пустотелого вала *15* с шестерней $z = 13$ рукоятками *9* вместе с головкой *8* и лимбом *5* с закрепленным зубчатым фиксатором, установленным на определенную глубину сверления поворотом кнопки *7*, имеющей эксцентриковую втулку. При вытянутой «на себя» кнопке *7* упор *3* проходит мимо ролика *4*, не выключая подачу.

Автоматическая подача шпинделя осуществляется поворотом рукояток *9* «от себя» на осях *11*. Короткие плечи рычагов упираются в пазы «*е*» вала *15*, вследствие чего головка *8* перемещается влево, и муфта *13* включается зубцами «*б*» и «*в*», а обойма *2* через кулачки «*а*» со ступицей *1*, скрепленной с вращающимся червячным колесом *14* с $z = 60$. Фиксация положений включения и выключения муфты

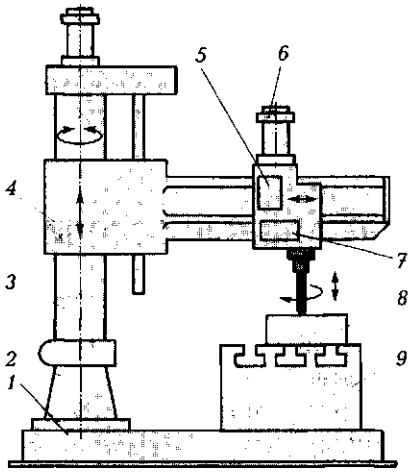


Рис. 2.10. Радиально-сверлильный станок:
1 — основание; *2* — неподвижная колонна; *3* — поворотная стойка; *4* — траверса; *5* — шпиндельная бабка; *6* — электродвигатель главного движения; *7* — коробка подач; *8* — обрабатываемая деталь; *9* — приставной стол

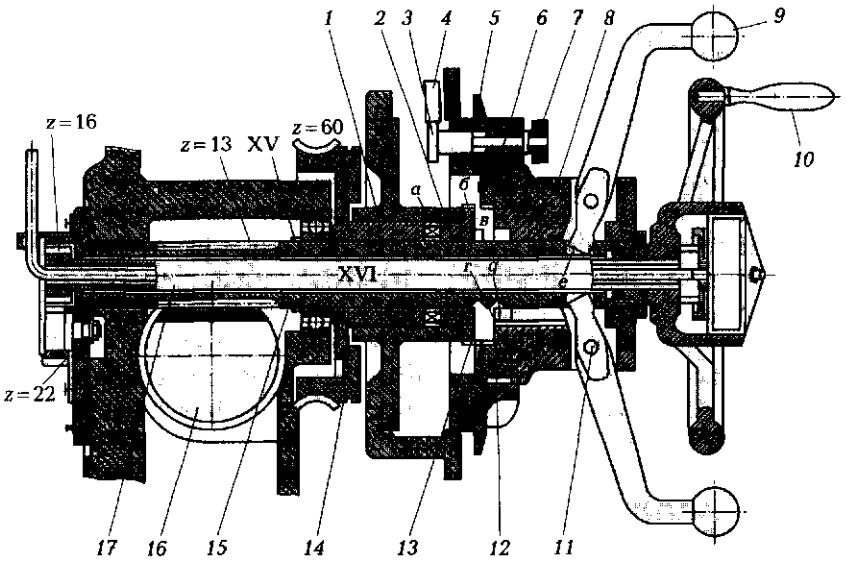


Рис. 2.11. Механизм перемещения шпинделя и шпиндельной бабки по траверсе:
1 — ступица; *2* — обойма; *3* — упор; *4* — ролик; *5* — лимб; *6* — зубчатый фиксатор; *7* — кнопка; *8* — головка; *9* — рукоятка; *10* — маховик; *11* — ось; *12* — пружинящая шпонка; *13* — муфта; *14* — червячное колесо; *15* — пустотелый вал; *16* — гильза шпинделя; *17* — вал

13 производится закрепленной к головке *8* пружинящей шпонкой *12*, входящей в пазы «*г*» и «*g*».

Перемещение шпиндельной головки по траверсе производится вращением маховика *10* вала *17* с зубчатым колесом $z = 16$ и реечной шестерней $z = 22$.

2.5. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ СВЕРЛИЛЬНО-РАСТОЧНЫЕ СТАНКИ

Горизонтально-сверлильные станки обычно применяются для обработки глубоких отверстий с отношением $l/d \geq 15$. Конструкция станков зависит от их габаритных размеров, массы заготовки и масштаба производства. По компоновке горизонтально-расточные станки бывают одно- и двухсторонние. В станках для сверления отверстий малого диаметра и длиной до 1 000 мм вращение задается заготовке, а поступательное движение (подача) — инструменту.

Для обработки отверстий большого диаметра применяются горизонтально-сверлильные станки с неподвижной установкой заготовки, а вращение и подача задаются инструменту.

Горизонтально-расточные станки (рис. 2.12) являются широкоуниверсальными. Они применяются в мелкосерийном и серийном производстве. Характерной их особенностью является наличие горизонтально расположенного шпинделя с осевым его перемещением. В шпинделе устанавливаются концевые инструменты, оправки, борштанги или патроны для крепления расточных валов.

Основными параметрами горизонтально-расточных станков являются диаметр шпинделя (65; 95; 125; 160; 220; 280 мм и более) и ширина стола (800; 1 120; 1 600; 2 000 мм и более).

На горизонтально-расточных станках можно производить фрезерование поверхностей, сверление, растачивание, зенкерование и развертывание отверстий, нарезание внутренних резьб резцами, обтачивание наружных цилиндрических поверхностей небольшой длины, подрезание торцов и др. Настройка на точность перемещений рабочих органов в пределах 0,01...0,05 мм производится с контролем по оптическому устройству.

Расточные станки с диаметром шпинделя до 125 мм изготавливаются с неподвижной передней стойкой и поворотным столом, перемещающимся в продольном и поперечном направлениях.

Наиболее распространенными горизонтально-расточными станками являются станки модели 2620, 2620А, 2622 и 2622А.

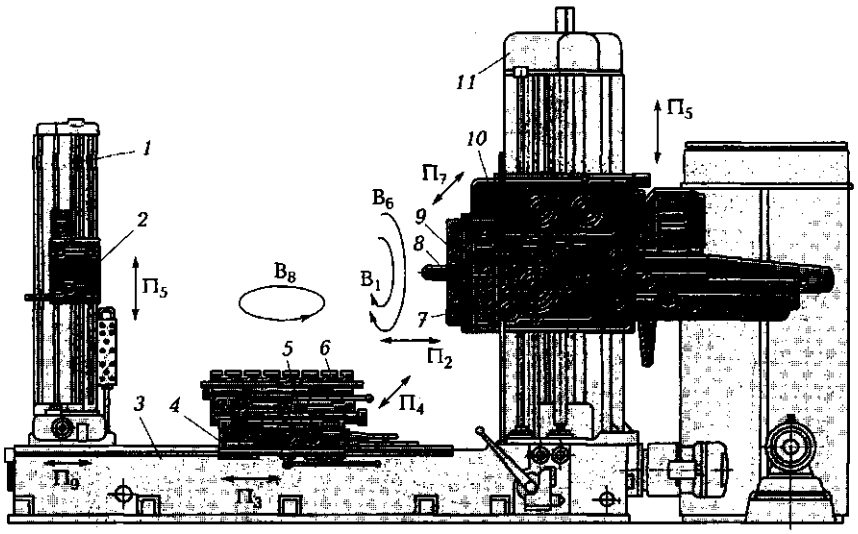


Рис. 2.12. Горизонтально-расточный станок:

1 — задняя стойка; *2* — люнет; *3* — станина; *4* — поперечные салазки; *5* — продольный стол; *6* — поворотный стол; *7* — планшайба; *8* — шпиндель; *9* — радиальный суппорт с резцедержателем; *10* — шпиндельная бабка; *11* — передняя стойка

Тяжелые расточные станки с диаметром шпинделя более 125 мм имеют переднюю стойку, перемещающуюся в одном или двух направлениях горизонтально относительно неподвижного стола.

Основные формообразующие движения в расточных станках: $\Phi_v(B_1)$ — вращение шпинделя (главное движение); $\Phi_{S1}(П_2)$ — перемещение шпинделя вдоль оси; $\Phi_{S2}(П_3)$ — поперечное перемещение стола; $\Phi_{S3}(П_4)$ — продольное перемещение стола; $\Phi_{v2}(B_6)$ — вращения планшайбы; $\Phi_{S4}(П_7)$ — радиальное перемещение суппорта; $Уст_1(П_5)$ — вертикальное перемещение шпиндельной бабки (может быть $\Phi_{S5}(П_5)$ — при фрезеровании и люнета — при обработке отверстий с помощью борштанг); $Уст_2(B_8)$ — поворот стола; $Уст_3(П_9)$ — перемещение задней стойки с люнетом.

Главное движение — вращение шпинделя (рис. 2.13) производится от электродвигателя через муфту Мф2, а вращение планшайбы через муфту Мф1, движение подач — от электродвигателя М2 через предохранительную муфту $М_п$ на вал IX и затем на вал XXVIII через муфты Мф6 и Мф8, осевая подача шпинделя — от вала XXVIII через муфту Мф5 на трехзаходный винт XXXVI с шагом t = 20 мм,

13 производится закрепленной к головке *8* пружинящей шпонкой *12*, входящей в пазы «*г*» и «*g*».

Перемещение шпиндельной головки по траверсе производится вращением маховика *10* вала *17* с зубчатым колесом $z = 16$ и реечной шестерней $z = 22$.

2.5. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ СВЕРЛИЛЬНО-РАСТОЧНЫЕ СТАНКИ

Горизонтально-сверлильные станки обычно применяются для обработки глубоких отверстий с отношением $l/d \geq 15$. Конструкция станков зависит от их габаритных размеров, массы заготовки и масштаба производства. По компоновке горизонтально-расточные станки бывают одно- и двухсторонние. В станках для сверления отверстий малого диаметра и длиной до 1 000 мм вращение задается заготовке, а поступательное движение (подача) — инструменту.

Для обработки отверстий большого диаметра применяются горизонтально-сверлильные станки с неподвижной установкой заготовки, а вращение и подача задаются инструменту.

Горизонтально-расточные станки (рис. 2.12) являются широкоуниверсальными. Они применяются в мелкосерийном и серийном производстве. Характерной их особенностью является наличие горизонтально расположенного шпинделя с осевым его перемещением. В шпинделе устанавливаются концевые инструменты, оправки, борштанги или патроны для крепления расточных валов.

Основными параметрами горизонтально-расточных станков являются диаметр шпинделя (65; 95; 125; 160; 220; 280 мм и более) и ширина стола (800; 1 120; 1 600; 2 000 мм и более).

На горизонтально-расточных станках можно производить фрезерование поверхностей, сверление, растачивание, зенкерование и развертывание отверстий, нарезание внутренних резьб резцами, обтачивание наружных цилиндрических поверхностей небольшой длины, подрезание торцов и др. Настройка на точность перемещений рабочих органов в пределах 0,01 ... 0,05 мм производится с контролем по оптическому устройству.

Расточные станки с диаметром шпинделя до 125 мм изготавливаются с неподвижной передней стойкой и поворотным столом, перемещающимся в продольном и поперечном направлениях.

Наиболее распространенными горизонтально-расточными станками являются станки модели 2620, 2620А, 2622 и 2622А.

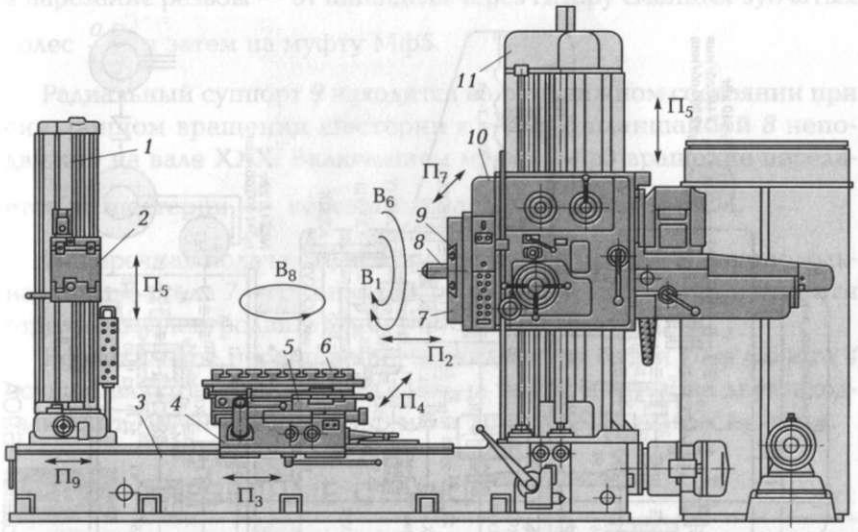


Рис. 2.12. Горизонтально-расточный станок:

1 — задняя стойка; *2* — люнет; *3* — станина; *4* — поперечные салазки; *5* — продольный стол; *6* — поворотный стол; *7* — планшайба; *8* — шпиндель; *9* — радиальный суппорт с резцедержателем; *10* — шпиндельная бабка; *11* — передняя стойка

Тяжелые расточные станки с диаметром шпинделя более 125 мм имеют переднюю стойку, перемещающуюся в одном или двух направлениях горизонтально относительно неподвижного стола.

Основные формообразующие движения в расточных станках: $\Phi_v(В_1)$ — вращение шпинделя (главное движение); $\Phi_{S1}(П_2)$ — перемещение шпинделя вдоль оси; $\Phi_{S2}(П_3)$ — поперечное перемещение стола; $\Phi_{S3}(П_4)$ — продольное перемещение стола; $\Phi_{v2}(В_6)$ — вращения планшайбы; $\Phi_{S4}(П_7)$ — радиальное перемещение суппорта; $Уст_1(П_5)$ — вертикальное перемещение шпиндельной бабки (может быть $\Phi_{S5}(П_5)$ — при фрезеровании и люнета — при обработке отверстий с помощью борштанг); $Уст_2(В_8)$ — поворот стола; $Уст_3(П_9)$ — перемещение задней стойки с люнетом.

Главное движение — вращение шпинделя (рис. 2.13) производится от электродвигателя через муфту Мф2, а вращение планшайбы через муфту Мф1, движение подач — от электродвигателя М2 через предохранительную муфту $М_п$ на вал IX и затем на вал XXVIII через муфты Мф6 и Мф8, осевая подача шпинделя — от вала XXVIII через муфту Мф5 на трехзаходный винт XXXVI с шагом t = 20 мм,

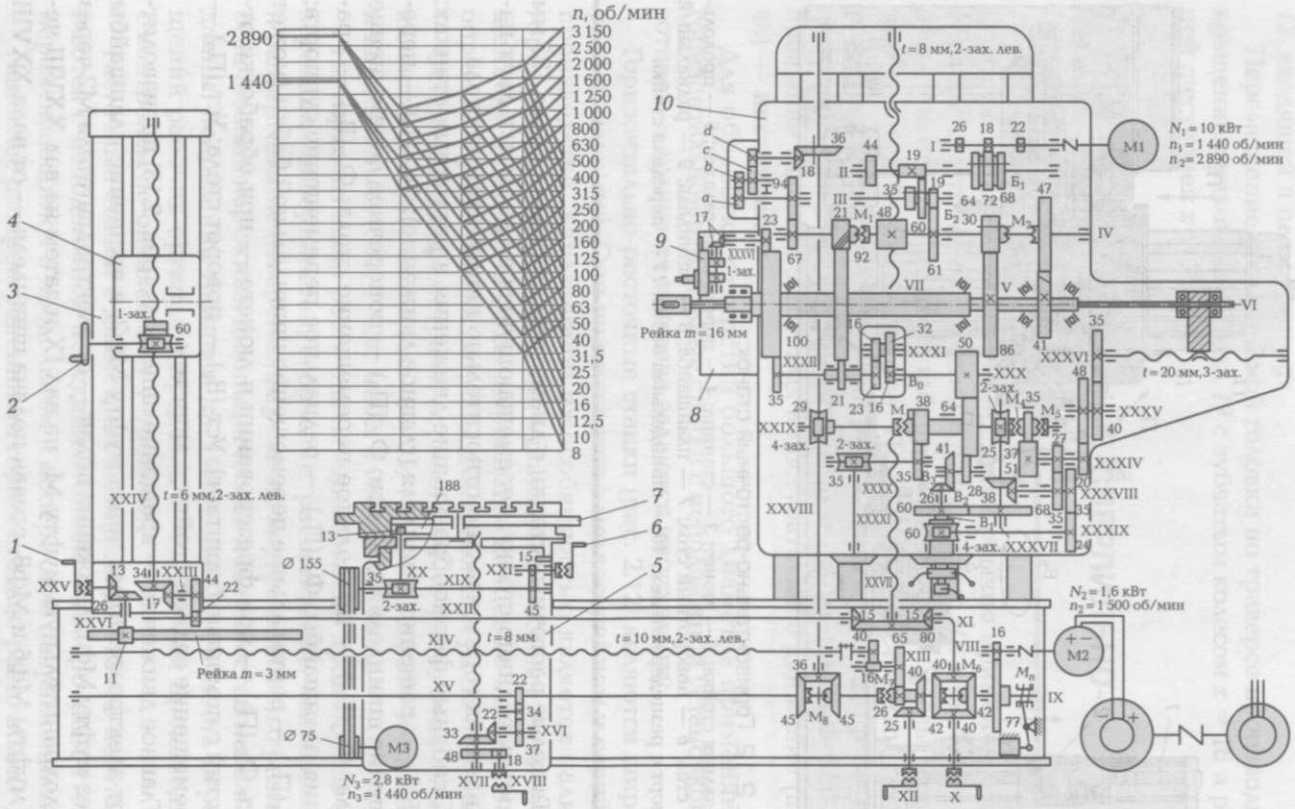


Рис. 2.13. Кинематическая схема горизонтально-расточного станка модели 2620А

а нарезание резьбы — от шпинделя через гитару сменных зубчатых колес $\frac{a}{b}\frac{c}{d}$ и затем на муфту Мф5.

Радиальный суппорт *9* находится в неподвижном состоянии при синхронном вращении шестерни $z = 100$ с планшайбой *8* неподвижно на вале XXX. Включением муфты Мф3 вращение передается на шестерни $\frac{64}{50}$ через планетарный механизм и т. д.

Поперечная подача стола *6* производится от вала XV, а продольная подача стола *7* — от винта XIV. Вращение стола *7* производится отдельным электродвигателем М3.

Вертикальное перемещение шпиндельной бабки *10* и люнета *4* осуществляются через муфту Мф6 на вал XI и затем на двухзаходный винт XXVII с шагом $t = 8$ мм и винт XXIV с шагом $t = 6$ мм.

2.6. ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

2.6.1. Консольные и бесконсольные горизонтально- и вертикально-фрезерные станки

Фрезерные станки предназначены для обработки горизонтальных, вертикальных и наклонных, наружных и внутренних, плоских и фасонных поверхностей, прорезки пазов, прямых и винтовых канавок, а также фрезерования зубьев реек и зубчатых колес.

По универсальности они подразделяются на универсальные (горизонтальные, вертикальные и продольно-фрезерные станки) и специализированные (шпоночные, шлицевые и карусельно-фрезерные станки).

Горизонтальные консольно-фрезерные станки характеризуются горизонтально расположенным шпинделем и консолью, предназначенной для установки столов и вертикального их перемещения (рис. 2.14).

Основными формообразующими движениями горизонтальных консольно-фрезерных станков являются: $\Phi_v(B_1)$ — вращения шпинделя (главное движение); $\Phi_{S1}(П_2)$ — продольное перемещение стола; $\Phi_{S2}(П_3)$ — поперечное перемещение стола; $\Phi_{S3}(П_4)$ — вертикальное перемещение консоли.

Основным параметром фрезерных станков является номер ширины продольного стола с интервалом через знаменатель ряда $\varphi = 1{,}26$ (табл. 2.12).

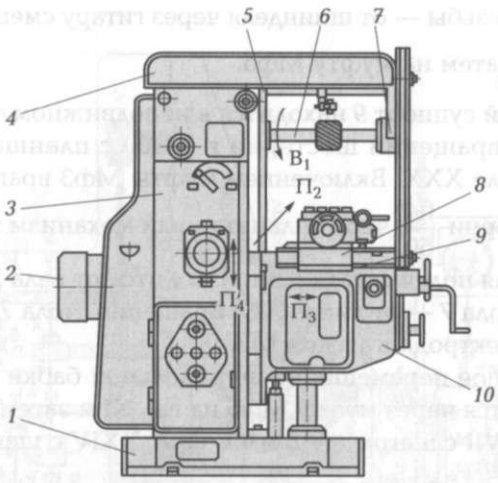


Рис. 2.14. Горизонтальный консольно-фрезерный станок:

1 — основание; *2* — привод главного движения; *3* — станина; *4* — хобот; *5* — шпиндель; *6* — оправка с фрезой; *7* — серьга; *8* — продольный стол; *9* — салазки; *10* — консоль

Горизонтально-фрезерные станки имеют несколько модификаций: горизонтальные модели 6Р82Г, универсальные модели 6Р82, широкоуниверсальные модели 6Р82Ш и быстроходные модели 6Р82Б.

Универсальные станки имеют поворотный продольный стол, установленный на специальной платформе. Широкоуниверсальные (рис. 2.15) оснащены универсальной головкой с передачей вращения шпинделю головки и возможностью установки ее под различными углами вокруг двух взаимно-перпендикулярных осей. Быстроходные станки предназначены для обработки заготовок из легких сплавов.

Конструктивной особенностью вертикально-фрезерных станков является вертикальное расположение шпинделя.

Консольные вертикально-фрезерные станки (рис. 2.16) имеют одинаковые с горизонтально-фрезерными узлы (консоль, стол, салазки, коробку скоростей и коробку подач).

Основными движениями консольных вертикально-фрезерных станков являются: $Ф_v(В_1)$ — вращение шпинделя (главное движе-

Таблица 2.12. Ширина стола фрезерного станка

Ширина стола, мм	100	125	160	200	250	320	400	500
Номер ширины	1	2	3	4	5	6	7	8

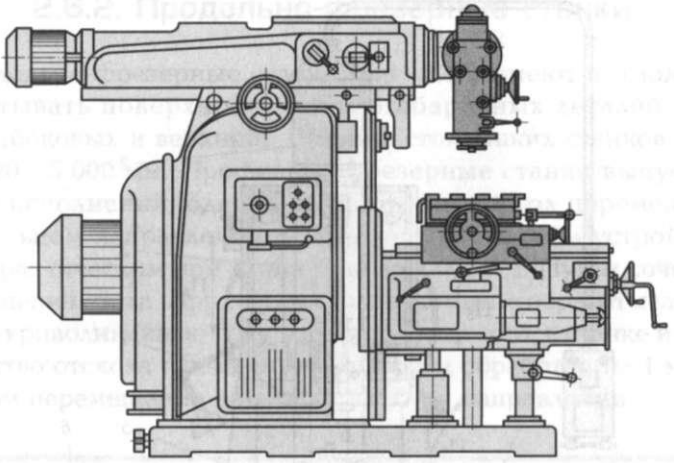


Рис. 2.15. Широкоуниверсальный фрезерный станок модели 6М83Ш

ние); $\Phi_{S1}(П_2)$ — продольное перемещение стола; $\Phi_{S2}(П_3)$ — поперечное перемещение салазок; $\Phi_{S3}(П_4)$ — вертикальное перемещение консоли. Установочные перемещения: $Уст_1(В_5)$ — поворот фрезерной головки на ±30°; $Уст_2(П_6)$ — осевое перемещение пиноли со шпинделем на 50...100 мм.

Бесконсольные фрезерные станки (рис. 2.17) имеют крестовый стол, перемещаемый по двум координатам. Эти станки обычно применяются для черновых обдирочных работ.

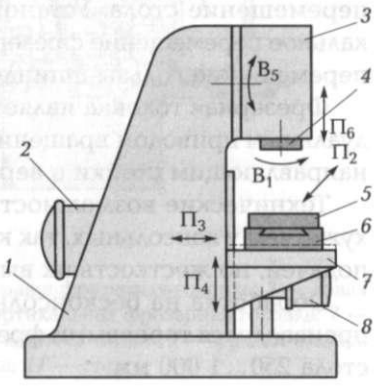


Рис. 2.16. Компоновка консольного вертикально-фрезерного станка:

1 — станина; *2* — привод главного движения; *3* — фрезерная головка; *4* — шпиндель; *5* — продольный стол; *6* — салазки; *7* — консоль; *8* — привод подач

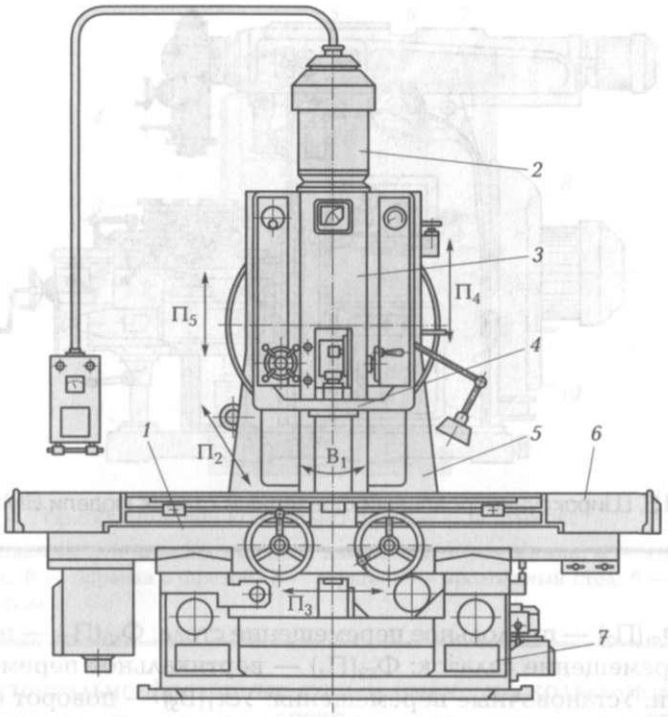


Рис. 2.17. Бесконсольно-фрезерный станок:

1 — салазки; *2* — привод главного движения; *3* — фрезерная головка; *4* — шпиндель; *5* — стойка; *6* — продольный стол; *7* — станина

Основные формообразующие движения в бесконсольных фрезерных станках: $\Phi_v(B_1)$ — вращение шпинделя (главное движение); $\Phi_{S1}(П_2)$ — продольное перемещение стола; $\Phi_{S2}(П_3)$ — поперечное перемещение стола. Установочные движения: $Уст_1$ $(П_4)$ — вертикальное перемещение фрезерной головки; $Уст_2$ $(П_5)$ — установочное перемещение гильзы шпинделя.

Фрезерная головка является самостоятельным узлом с индивидуальным приводом вращения шпинделя и может перемещаться по направляющим стойки в вертикальном направлении.

Технические возможности бесконсольных фрезерных станков хуже, чем у консольных, так как отсутствует консоль с вертикальной подачей, но жесткость их выше.

Обработка на бесконсольных фрезерных станках в основном производится торцевыми фрезами. Станки выполняются с шириной стола 250 ... 1 000 мм.

2.6.2. Продольно-фрезерные станки

Продольно-фрезерные станки (рис. 2.18) имеют возможность обрабатывать поверхности крупногабаритных деталей с трех сторон (боковых и верхней). Ширина стола таких станков может быть 320 ... 5 000 мм. Профильно-фрезерные станки выпускаются двух исполнений: одно- и двухстоечные. Стол перемещается в продольном направлении механическим тяговым устройством или гидравлическим при длине хода до 2 000 мм. Путем сочетания перемещений стола и фрезерных головок можно обрабатывать различные криволинейные поверхности. Кроме того, в станке имеется устройство отскока фрезы от поверхности обработки на 1 мм при холостом перемещении детали в обратном направлении.

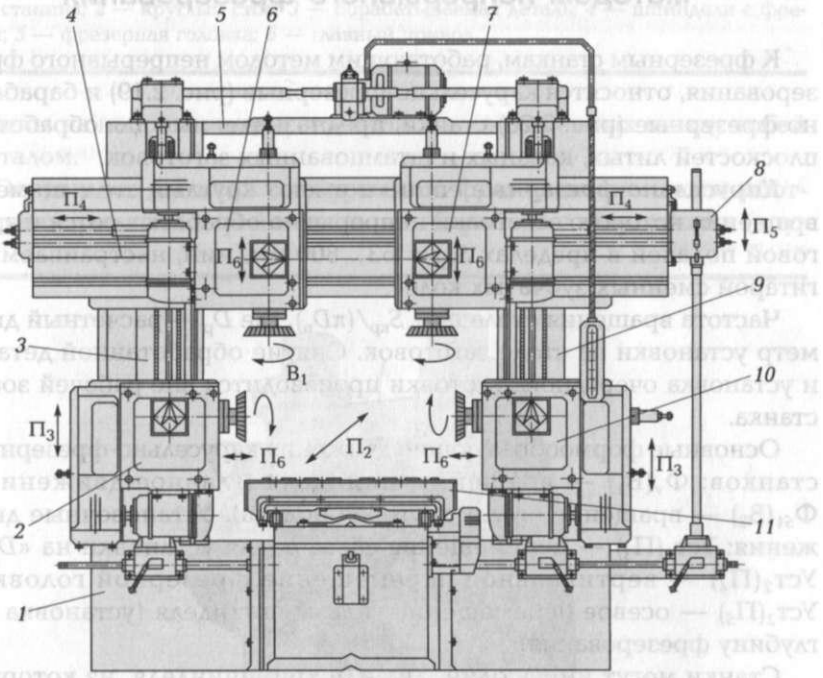


Рис. 2.18. Продольно-фрезерный станок:

1 — основание (станина); *2* — левая горизонтальная фрезерная головка; *3* — левая стойка; *4* — траверса; *5* — портал; *6* — левая вертикальная фрезерная головка; *7* — правая вертикальная фрезерная головка; *8* — коробка подач; *9* — правая стойка; *10* — правая горизонтальная фрезерная головка; *11* — стол

Фрезерные головки, установленные вертикально на траверсе и горизонтально на стойках, имеют индивидуальные приводы вращения.

Основные формообразующие движения в продольно-фрезерных станках: $\Phi_v(B_1)$ — вращение шпинделя (главное движение); $\Phi_{S1}(П_2)$ — продольное перемещение стола; $\Phi_{S2}(П_3)$ — вертикальное перемещение горизонтальных фрезерных головок; $\Phi_{S3}(П_4)$ — горизонтальное перемещение вертикальных фрезерных головок. Установочные движения: $Уст_1$ $(П_5)$ — вертикальное перемещение траверсы; $Уст_2$ $(П_6)$ — осевое перемещение шпинделя.

Для расширения технологических возможностей станков вместо фрезерных головок могут устанавливаться шлифовальные.

2.6.3. Фрезерные станки, работающие методом непрерывного фрезерования

К фрезерным станкам, работающим методом непрерывного фрезерования, относятся карусельно-фрезерные (рис. 2.19) и барабанно-фрезерные (рис. 2.20) станки, предназначенные для обработки плоскостей литых, кованых и штампованных заготовок.

Карусельно-фрезерные станки имеют круглый стол, по мере вращения которого заготовки непрерывно обрабатываются с круговой подачей в пределах $S_{кр}$ = 63...800 мм/мин, настраиваемых гитарой сменных зубчатых колес.

Частота вращения стола $n_2 = S_{кр}/(\pi D_р)$, где $D_р$ — расчетный диаметр установки на столе заготовок. Снятие обработанной детали и установка очередной заготовки производится вне рабочей зоны станка.

Основные формообразующие движения карусельно-фрезерных станков: $\Phi_v(B_1)$ — вращение шпинделя (главное движение); $\Phi_{S1}(B_2)$ — вращение стола (круговая подача). Установочные движения: $Уст_1(П_3)$ — перемещение салазок для установки на «$D_р$»; $Уст_2(П_4)$ — вертикальное перемещение фрезерной головки; $Уст_3(П_5)$ — осевое перемещение гильзы шпинделя (установка на глубину фрезерования).

Станки могут иметь один, два или три шпинделя, из которых один чистовой с диаметром фрезы до 600 мм, а другие черновые с диаметром фрез до 320 мм.

Барабанно-фрезерные станки имеют вращаемый вокруг горизонтальной оси барабан *2* (см. рис. 2.20) с приспособлениями для установки и закрепления заготовок. Фрезерные головки *1* распо-

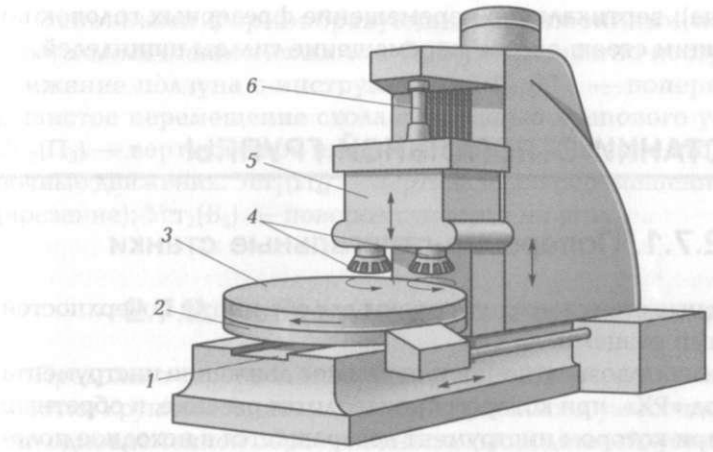


Рис. 2.19. Карусельно-фрезерный станок:

1 — станина; *2* — круглый стол; *3* — обрабатываемая деталь; *4* — шпиндели с фрезами; *5* — фрезерная головка; *6* — главный привод

ложены на направляющих стоек станка, соединенных между собой порталом.

Основными движениями барабанно-фрезерных станков являются вращение шпинделей и вращение барабана с заготовками (кру-

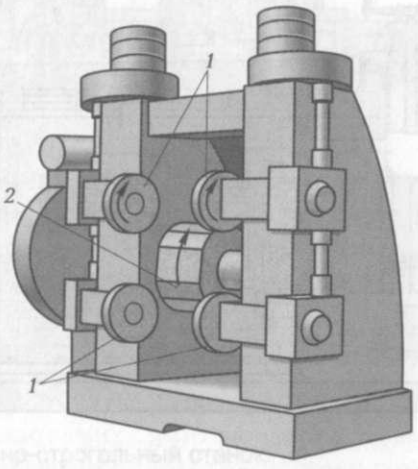


Рис. 2.20. Барабанно-фрезерный станок:

1 — фрезерные головки; *2* — барабан

говая подача); вертикальное перемещение фрезерных головок по направляющим стоек; осевое перемещение гильзы шпинделей.

2.7. СТАНКИ СТРОГАЛЬНОЙ ГРУППЫ

2.7.1. Поперечно-строгальные станки

Строгальные станки предназначены для обработки поверхностей строгальными резцами.

Станки имеют возвратно-поступательное движение инструмента (рабочий ход «РХ», при котором производится резание, и обратный ход «ХХ», при котором инструмент возвращается в исходное положение). В связи с прерывистым характером движения они имеют высокую производительность.

Поперечно-строгальные станки (рис. 2.21) предназначены для обработки деталей мелких и средних размеров в мелкосерийном и серийном производстве. Основным параметром этих столов является длина хода ползуна в пределах 200...2 400 мм, осуществляемая кулисным механизмом или гидроприводом при длине хода до 1 000 мм.

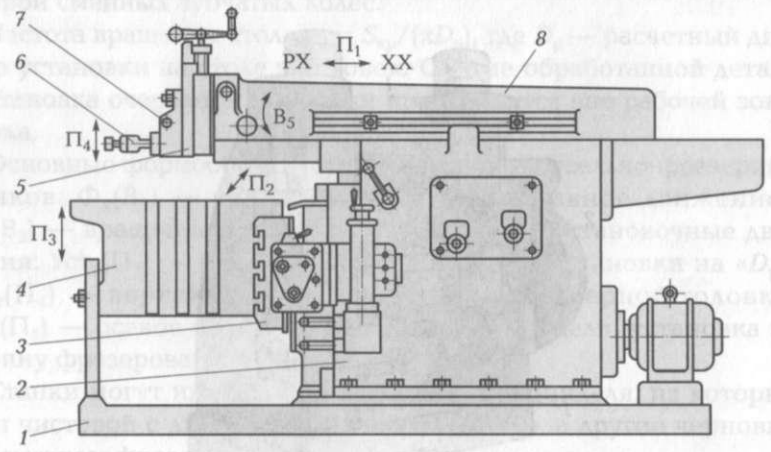


Рис. 2.21. Поперечно-строгальный станок:
1 — основание; *2* — станина; *3* — траверса; *4* — поперечный стол; *5* — суппорт; *6* — резец; *7* — откидная плита; *8* — ползун

Основными формообразующими движениями поперечно-строгальных станков являются: $\Phi_v(B_1)$ — возвратно-поступательное движение ползуна с инструментом; $\Phi_{S1}(П_2)$ — поперечное прерывистое перемещение стола с помощью храпового устройства; $\Phi_{S2}(П_3)$ — вертикальное прерывистое перемещение стола. Установочные движения: $Уст_1(П_4)$ — вертикальное перемещение суппорта (врезание); $Уст_2(B_5)$ — поворот суппорта на угол.

2.7.2. Продольно-строгальные станки

Продольно-строгальные станки (рис. 2.22) предназначены для обработки крупногабаритных деталей, длинных и узких поверхностей или одновременной обработки нескольких деталей, установленных последовательно на станке.

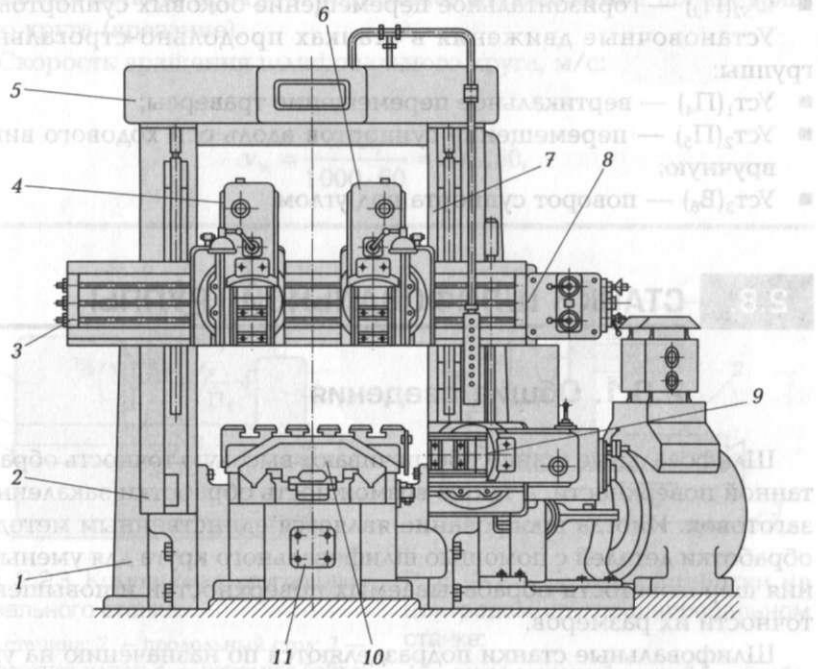


Рис. 2.22. Продольно-строгальный станок:

1 — основание; *2* — левая стойка; *3* — траверса; *4* — левый вертикальный суппорт; *5* — портал (поперечина); *6* — правый вертикальный суппорт; *7* — правая стойка; *8* — коробка передач суппорта; *9* — правый боковой суппорт; *10* — стол; *11* — станина

Продольно-строгальные станки по точности и плоскостности обрабатываемых на них деталей не имеют себе равных.

К основным параметрами станков относятся наибольшие размеры обрабатываемых на них деталей (ширина × длина × высота). Наиболее характерными являются станки для обработки деталей размерами от 600×2 000×550 до 5 000×12 500×450 мм. Продольно-строгальные станки бывают двух исполнений (одностоечные и двухстоечные) с одним или четырьмя суппортами и скоростью перемещения стола $v_c = 4...8$ м/мин. Для расширения их технологических возможностей вместо отдельных суппортов можно устанавливать шлифовальные или фрезерные головки.

Основные формообразующие движения в продольно-строгальных станках:

- $Ф_v(П_1)$ — возвратно-поступательное перемещение стола (главное движение);
- $Ф_{S1}(П_2)$ — вертикальное прерывистое перемещение боковых суппортов;
- $Ф_{S2}(П_3)$ — горизонтальное перемещение боковых суппортов.

Установочные движения в станках продольно-строгальной группы:

- $Уст_1(П_4)$ — вертикальное перемещение траверсы;
- $Уст_2(П_5)$ — перемещение суппортов вдоль оси ходового винта вручную;
- $Уст_3(В_6)$ — поворот суппорта под углом.

2.8. СТАНКИ ШЛИФОВАЛЬНОЙ ГРУППЫ

2.8.1. Общие сведения

Шлифовальные станки обеспечивают высокую точность обработанной поверхности, а также возможность обработки закаленных заготовок. Иногда шлифование является единственным методом обработки деталей с помощью шлифовального круга для уменьшения шероховатости обрабатываемых поверхностей и повышения точности их размеров.

Шлифовальные станки подразделяются по назначению на универсальные и специализированные. Универсальными шлифовальными станками являются круглошлифовальные (центровые и бесцентровые), внутришлифовальные, плоскошлифовальные и непрерывного шлифования. К специальным относятся резьбошли-

фовальные, зубошлифовальные, шлицешлифовальные, отделочно-шлифовальные, хонинговальные (для обработки отверстий), доводочные (полировальные) и суперфинишные станки.

2.8.2. Круглошлифовальные станки центровые

Компоновка круглошлифовального станка представлена на рис. 2.23. Эти станки предназначены для наружного шлифования цилиндрических, конических и торцевых поверхностей. Основными параметрами их являются наибольший диаметр и длина обрабатываемой детали.

Основные движения при круглом шлифовании в центрах (рис. 2.24): $\Phi_v(B_1)$ — вращение шлифовального круга (главное движение); $\Phi_{S1}(B_2)$ — вращение обрабатываемой детали (круговая подача «$S_{кр}$»); $\Phi_{S2}(П_3)$ — возвратно-поступательное перемещение вдоль оси детали; $B_p(П_4)$ — радиальное перемещение шлифовального круга (врезание).

Скорость вращения шлифовального круга, м/с:

$$v_к = \frac{\pi D n_1}{1000 \cdot 60} = 30...50,$$

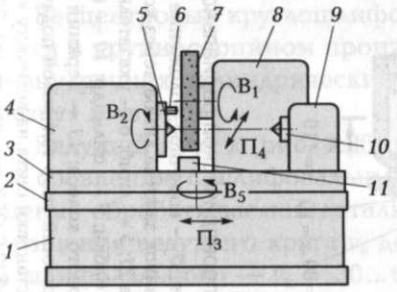


Рис. 2.23. Компоновка круглошлифовального станка:

1 — станина; *2* — продольный стол; *3* — поворотная плита; *4* — передняя бабка; *5* — передний центр; *6* — поводковое устройство; *7* — шлифовальный круг; *8* — шлифовальная бабка; *9* — задняя бабка; *10* — задний центр; *11* — приспособление правки круга

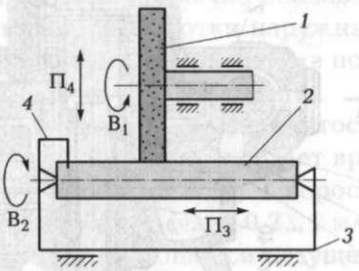


Рис. 2.24. Схема обработки на центровом круглошлифовальном станке:

1 — шлифовальный круг; *2* — обрабатываемая деталь; *3* — стол продольного перемещения детали; *4* — поводковое устройство

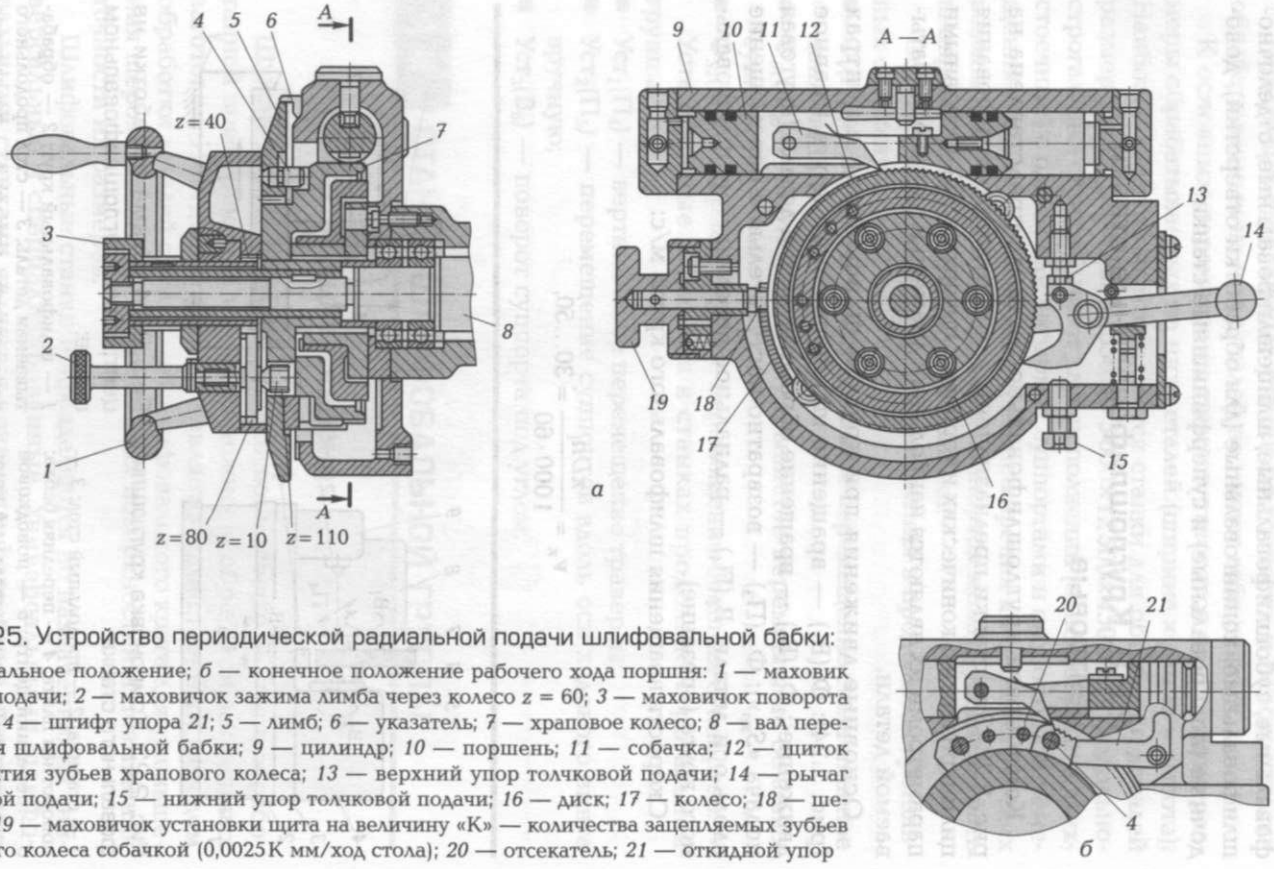


Рис. 2.25. Устройство периодической радиальной подачи шлифовальной бабки:

а — начальное положение; *б* — конечное положение рабочего хода поршня: *1* — маховик ручной подачи; *2* — маховичок зажима лимба через колесо *z* = 60; *3* — маховичок поворота штифта; *4* — штифт упора *21*; *5* — лимб; *6* — указатель; *7* — храповое колесо; *8* — вал перемещения шлифовальной бабки; *9* — цилиндр; *10* — поршень; *11* — собачка; *12* — щиток перекрытия зубьев храпового колеса; *13* — верхний упор толчковой подачи; *14* — рычаг толчковой подачи; *15* — нижний упор толчковой подачи; *16* — диск; *17* — колесо; *18* — шестерня; *19* — маховичок установки щита на величину «К» — количества зацепляемых зубьев храпового колеса собачкой (0,0025К мм/ход стола); *20* — отсекатель; *21* — откидной упор

где D — диаметр шлифовального круга, мм; n_1 — число оборотов шлифовального круга.

Скорость вращения обрабатываемой детали

$$v_A = \frac{\pi D n_2}{1000},$$

где d — диаметр обрабатываемой детали, мм; n_2 — число оборотов обрабатываемой детали.

При обработке деталей длиной менее ширины круга производится врезное шлифование с радиальной подачей.

Для обработки конических поверхностей плита *3* (см. рис. 2.24) поворачивается на угол +3° или –10°.

В центровых круглошлифовальных станках обычно автоматизировано: продольный ход стола; быстрый подвод и отвод шлифовальной бабки; подача шлифовальной бабки на врезание после каждого одинарного или двойного хода стола (рис. 2.25); включение и отключение вращения шпинделя с обрабатываемой деталью; включение и отключение подачи охлаждающей жидкости.

2.8.3. Бесцентровые круглошлифовальные станки

Бесцентровые круглошлифовальные станки обычно используются в крупносерийном производстве для обработки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей «на проход», «в подрезку» и «в упор».

Ведущий круг *2* (рис. 2.26) имеет более крупную зернистость по сравнению с шлифовальным кругом *1*, поэтому он задает вращение обрабатываемой детали *3* (круговая подача $B_д$). Скорость вращения ведущего круга $v_в$ должна быть в пределах 0,2...1 м/с, а шлифовального — $v_к$ = 30...60 м/с. Угол наклона оси ведущего круга относительно шлифовального обеспечивает необходимую скорость осевого движения обрабатываемой детали $v_д = S$ (осевая подача). При угле поворота ведущего круга α = 3...6° производится черновая обработка детали с высокой производительностью, а при α = 1...1,5° — чистовая с более высоким качеством поверхности и точностью диаметрального размера.

Вогнутая форма ведущего круга обеспечивает линейность контакта с образующей обрабатываемой детали.

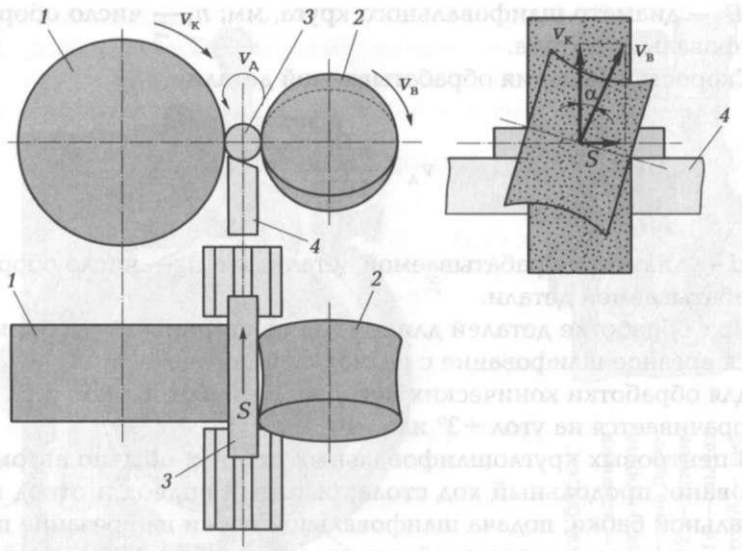


Рис. 2.26. Схема устройства бесцентрового круглого шлифования:

1 — шлифовальный круг; *2* — ведущий круг; *3* — обрабатываемая деталь; *4* — поддерживающий нож; $v_к$ — окружная скорость шлифовального круга; v_A — окружная скорость обрабатываемой детали (заготовки); $v_в$ — окружная скорость ведущего круга; α — угол поворота ведущего круга или наклона поддерживающего ножа; *S* — продольная подача заготовки

Для повышения чистоты обработки шлифовальный круг имеет вдоль своей оси устройство осциллирующего (возвратно-поступательного) движения.

2.8.4. Внутришлифовальные станки

Компоновка внутришлифовального станка представлена на рис. 2.27. Такие станки применяются в серийном производстве для обработки сквозных и глухих отверстий цилиндрической и конической формы, а также торцов деталей за одну установку с отверстиями от 25 до 800 мм, длиной до 300 мм и наружным диаметром до 500 мм.

Для шлифования отверстий малого диаметра станки могут оснащаться дополнительным быстроходным шпинделем.

Основные формообразующие движения внутришлифовальных станков: $Ф_v(B_1)$ — вращение шлифовального круга (главное движение); $Ф_{S1}(B_2)$ — вращение обрабатываемой детали (круговая пода-

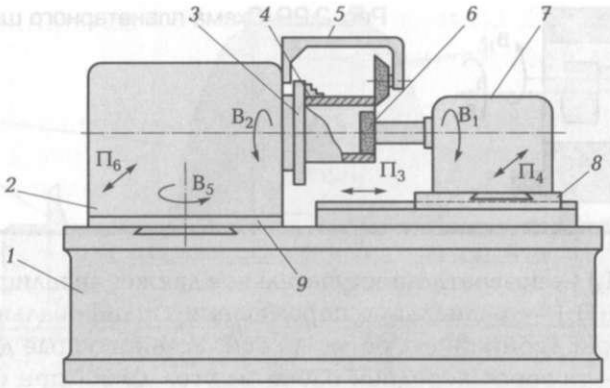


Рис. 2.27. Компоновка внутришлифовального станка:

1 — станина; *2* — передняя бабка; *3* — патрон; *4* — обрабатываемая деталь; *5* — торцешлифовальное приспособление; *6* — шлифовальный круг; *7* — шлифовальная бабка; *8* — продольный стол; *9* — салазки

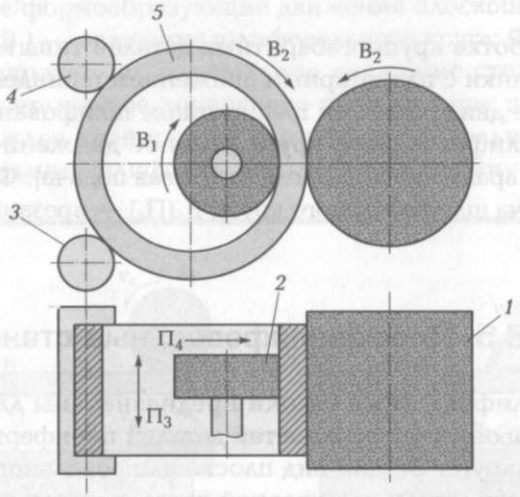


Рис. 2.28. Схема бесцентрового внутреннего шлифования:

1 — ведущий круг; *2* — шлифовальный круг; *3* — опорный ролик; *4* — прижимной ролик; *5* — обрабатываемая деталь

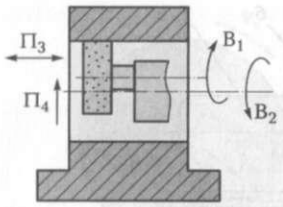


Рис. 2.29. Схема планетарного шлифования

ча); $Ф_{S2}(П_3)$ — возвратно-поступательное движение шлифовальной бабки; $В_р(П_4)$ — радиальное перемещение шлифовальной бабки за один или двойной ход ее вдоль оси. Установочные движения: $Уст_1(В_5)$ — поворот передней бабки на угол до 30° при обработке конических отверстий; $Уст_2(П_6)$ — радиальное смещение передней бабки вручную в пределах 150 мм для обработки деталей с отверстием большого диаметра.

При обработке крупногабаритных деталей типа кольца применяются станки бесцентрового внутреннего шлифования (рис. 2.28).

Основные формообразующие движения бесцентровых внутришлифовальных станков: $Ф_v(В_1)$ — вращение шлифовального круга (главное движение); $Фs_1(В_2)$ — движение подачи (круговая подача); $Ф_{S2}(П_3)$ — продольная подача; $В_р(П_4)$ — подача врезания на глубину.

При обработке крупногабаритных деталей типа корпусов применяются станки с планетарным движением шпинделя (рис. 2.29).

Основные движения при планетарном шлифовании: $Ф_v(В_1)$ — вращение шлифовального круга (главное движение); $Ф_{S1}(В_2)$ — планетарное вращение шпинделя (круговая подача); $Ф_{S2}(П_3)$ — продольная подача шлифовального круга; $В_р(П_4)$ — врезание на глубину шлифования.

2.8.5. Плоскошлифовальные станки

Плоскошлифовальные станки предназначены для обработки плоских и фасонных поверхностей деталей периферией и торцом абразивного круга. Общий вид плоскошлифовального станка, обрабатывающего детали периферией круга, показан на рис. 2.30.

Обрабатываемая деталь устанавливается и закрепляется на электромагнитной плите или в тисках, если она имеет недостаточную площадь установочной плоскости.

Схемы плоского шлифования периферией и торцом круга показаны на рис. 2.31.

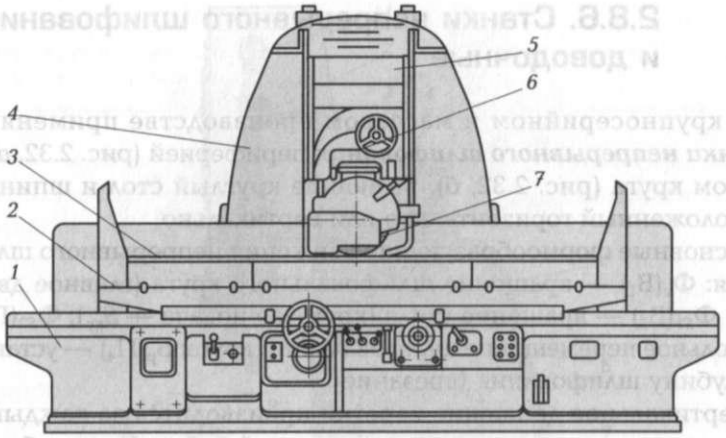


Рис. 2.30. Общий вид плоскошлифовального станка, обрабатывающего детали периферией круга:

1 — станина; *2* — продольный стол; *3* — электромагнитная плита; *4* — стойка (колонна); *5* — каретка перемещения шлифовального круга на врезание; *6* — шлифовальная бабка поперечного перемещения круга; *7* — шлифовальный круг

Основные формообразующие движения плоскошлифовальных станков: $\Phi_v(B_1)$ — вращение шлифовального круга; $\Phi_{S1}(П_2)$ — продольное возвратно-поступательное движение стола с деталью; $\Phi_{S2}(П_3)$ — прерывистое поперечное перемещение шлифовальной бабки на каждое двойное или одинарное продольное движение; $B_p(П_4)$ — врезание шлифовального круга на глубину прохода.

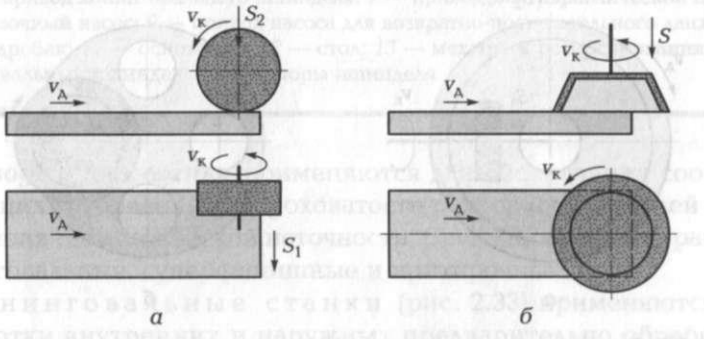


Рис. 2.31. Схемы плоского шлифования:

а — периферией круга; *б* — торцом круга

2.8.6. Станки непрерывного шлифования и доводочные

В крупносерийном и массовом производстве применяются ***станки непрерывного шлифования*** периферией (рис. 2.32, *а*) или торцом круга (рис. 2.32, *б*), имеющие круглый стол и шпиндель, расположенный горизонтально или вертикально.

Основные формообразующие движения непрерывного шлифования: $\Phi_v(B_1)$ — вращение шлифовального круга (главное движение); $\Phi_{S1}(B_2)$ — вращение стола (круговая подача — $S_{кр}$); $\Phi_{S2}(П_3)$ — продольное перемещение шлифовального круга; $B_р(П_4)$ — установка на глубину шлифования (врезание).

Вертикальное движение каретки производится за каждый ход поперечного перемещения шлифовальной бабки. Число оборотов стола

$$n = \frac{S_{кр}}{\pi D_{ср}},$$

где $D_{ср}$ — средний (расчетный) диаметр установки деталей на плоскости круглого стола, мм; $S_{кр}$ — круговая подача, мм/мин.

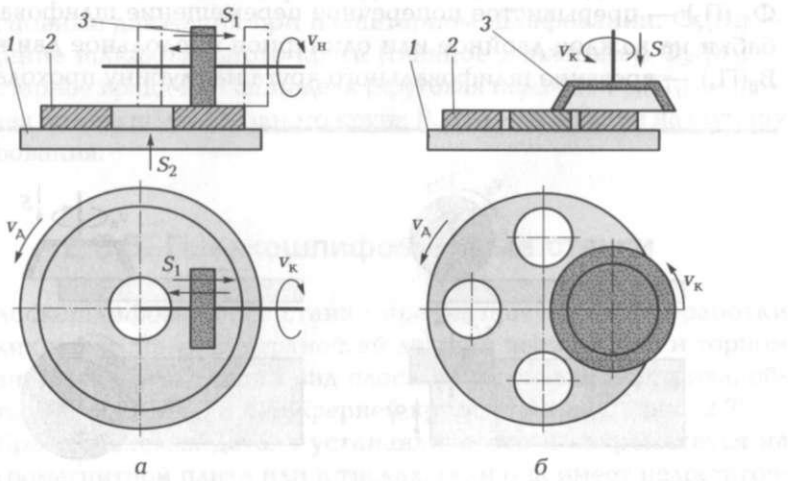


Рис. 2.32. Схема непрерывного шлифования:

а — периферией; *б* — торцом круга: *1* — стол; *2* — обрабатываемые детали; *3* — шлифовальный круг

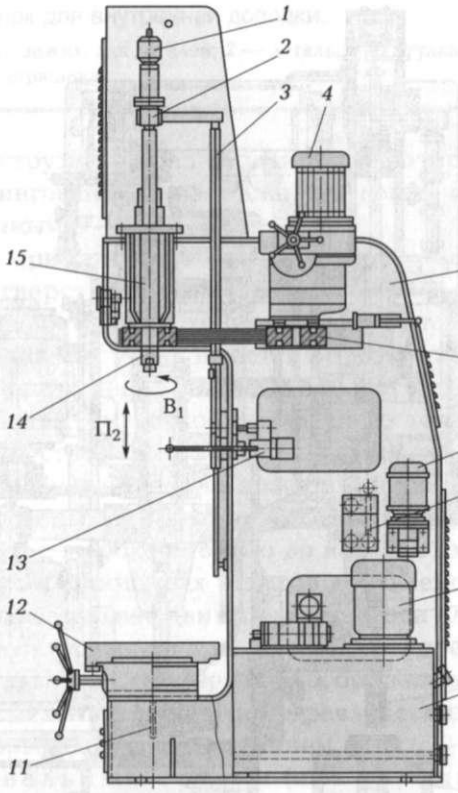


Рис. 2.33. Вертикальный хонинговальный станок:

1 — вращающийся распределитель для подвода смазочно-охлаждающих технологических сред к цилиндру; *2* — цилиндр возвратно-поступательного движения; *3* — рычаг реверса; *4* — привод шпинделя; *5* — сварная стойка станка; *6* — клиноременный привод хонинговального шпинделя; *7* — привод для гидравлической подачи; *8* — смазочный насос; *9* — привод насоса для возвратно-поступательного движения; *10* — гидробак; *11* — основание; *12* — стол; *13* — механизм реверсирования; *14* — хонинговальный шпиндель; *15* — опоры шпинделя

Доводочные станки применяются для обеспечения соответствующих требований к шероховатости поверхности деталей и исправления геометрической неточности. Среди них распространены хонинговальные, суперфинишные и притирочные.

Хонинговальные станки (рис. 2.33) применяются для обработки внутренних и наружных предварительно обработанных поверхностей в целях получения точных по размерам, форме и высокой чистоте обработки деталей. Обработка производится

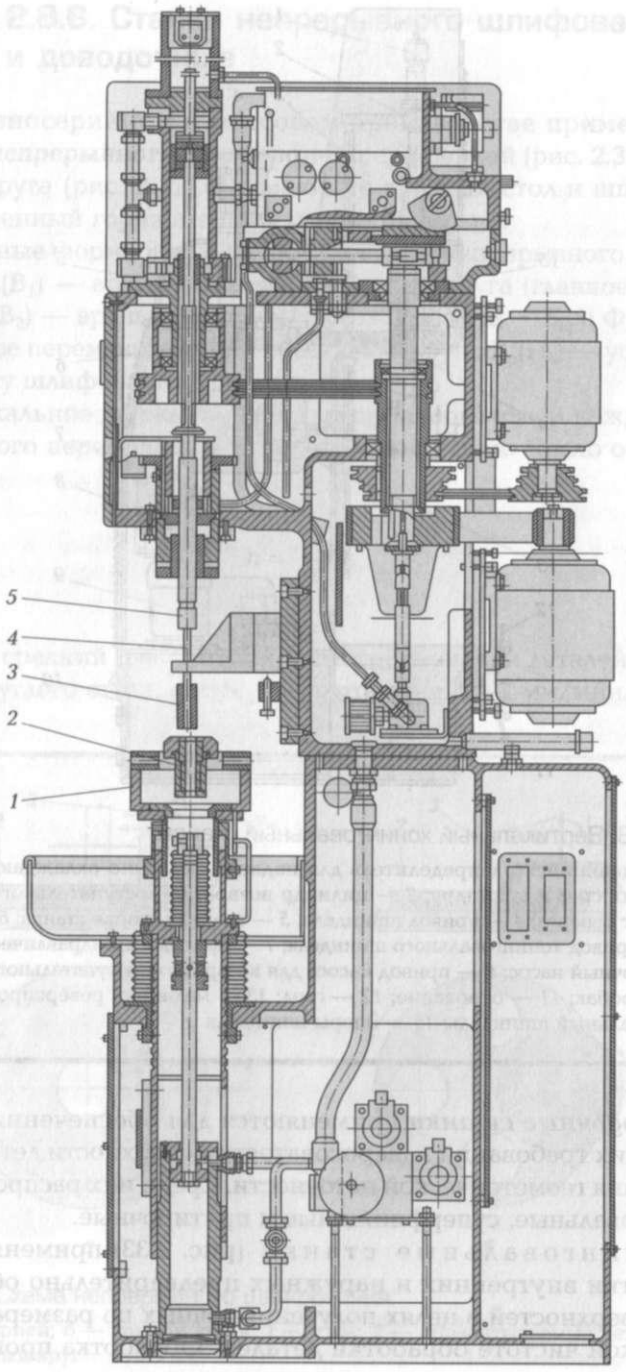

5
4
3
2
1

Рис. 2.34. Станок для внутренней доводки:

1 — маятниковый зажим для деталей; *2* — деталь; *3* — втулка притира; *4* — притир; *5* — плавающая державка

хоном — инструментом из абразивного материала (брусками). Процесс хонингования бывает длинноходовым и короткоходовым (суперфинишным).

Основное применение хонинговальные станки получили при обработке отверстий в корпусных деталях и гидроцилиндрах. Наиболее распространены хонинговальные станки вертикального исполнения, так как у них имеется возможность использования плавающего инструмента и карданных приспособлений для зажима деталей. Подвод смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) и отвод стружки в таких станках также облегчены.

Суперфинишные станки применяются для обработки плоских, наружных и внутренних цилиндрических поверхностей (рис. 2.34) с шероховатостью до $Ra = 0{,}01$ мкм. К основному движению суперфинишных станков добавлено дополнительное возвратно-колебательное движение вдоль оси для разбивки сетки следов обработки поверхности деталей. Для врезания на глубину используется давление мелкозернистых брусков на обрабатываемую поверхность механическим или гидравлическим приводом. Этот процесс сопровождается охлаждением.

Полировальные станки (притирочные) применяются для чистовой отделки наружных и внутренних поверхностей, скругления кромок и снятия заусенцев с помощью мелкозернистых абразивных и синтетических порошков и паст, нанесенных на полотно, войлочные, медные и чугунные круги или находящихся в смеси с различными жидкими суспензиями.

2.9. СТАНКИ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

2.9.1. Токарные станки с числовым программным управлением и многоцелевые станки

Токарные станки с числовым программным управлением (ЧПУ) предназначены для высокопроизводительной обработки в автоматическом режиме заготовок типа тел вращения в условиях мелко-

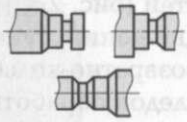
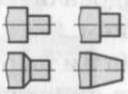
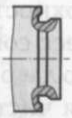
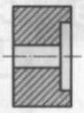
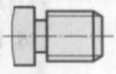
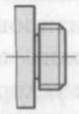
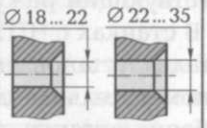
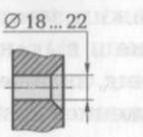
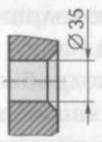
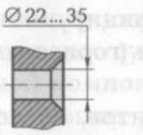
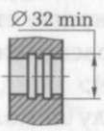
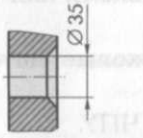
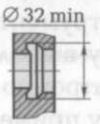
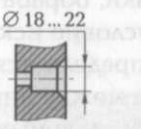
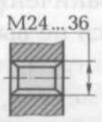
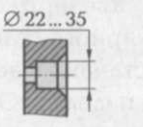
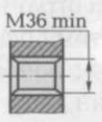
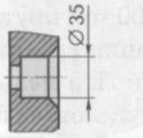
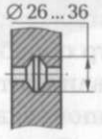
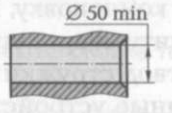
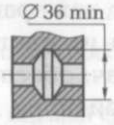
Режущий инструмент	Элемент обработки	Режущий инструмент	Элемент обработки
Сверло центровочное ГОСТ 14952 — 75		Резец отрезной ГОСТ 18884 — 73	
Сверло спиральное ГОСТ 10903 — 77		Резец для проточки канавок МН 602 — 64	
Резец проходной ТУ 2-035-892 — 82		Резец канавочный К01-4112	
Резец проходной ГОСТ 26611 — 85 ГОСТ 20872 — 80		Резец канавочный К01-4112	
Резец проходной ТУ 2-035-892 — 82		Резец для угловых канавок ТУ 2-035-558 — 77	
Резец проходной ГОСТ 20872 — 80		Резец для угловых канавок ТУ 2-035-558 — 77	
Резец копировальный ГОСТ 20872 — 80		Резец расточный для торцовых выточек МН 618 — 64	
Резец копировальный ГОСТ 20872 — 80		Резец резьбовой ТУ 2-035-884 — 82	

Рис. 2.35. Типовые элементарные поверхности и режущий инструмент

Режущий инструмент	Элемент обработки	Режущий инструмент	Элемент обработки
Резец резьбовой ТУ 2-035-884 — 82		Развертка машинная цельная ГОСТ 20874 — 75	
Резец расточный специальный К2-567		Развертка машинная накладная ГОСТ 1672 — 80	
Резец расточный специальный К01-4205		Резец для внутренних канавок специальный ГОСТ 18885 — 73	
Резец расточный ГОСТ 20874 — 75		Резец для внутренних угловых канавок ГОСТ 18885 — 73	
Резец расточный МН 619 — 64		Резец резьбовой для внутренней резьбы ГОСТ 18885 — 73	
Резец расточный специальный К01-4209		Резец резьбовой специальный ТУ 2-035-276 — 71	
Резец расточный ГОСТ 20874 — 75		Резец для расточки канавок МН 617 — 64	
Резец расточный ГОСТ 9795 — 84			

серийного и серийного производства. Типовые элементарные поверхности, обрабатываемые на токарных станках с ЧПУ, и соответствующий режущий инструмент показаны на рис. 2.35.

В станках с ЧПУ полностью автоматизированы цикл обработки детали с установлением необходимых режимов резания, а также все вспомогательные движения и функции: ускоренное перемещение рабочих органов, смена инструмента, устанавливаемого в револьверных головках или магазинах, зажим заготовки, перемещение задней бабки и люнета, включение и выключение механизмов стружкодробления и стружкоудаления, включение системы охлаждения, введение коррекции на положение заранее настроенного на размер инструмента и т. д.

Токарные станки с ЧПУ классифицируются:

- по расположению оси шпинделя (горизонтальные и вертикальные);
- числу используемых инструментов, способу их закрепления и смены (с револьверными головками или магазином сменных инструментов);
- виду выполняемых работ (прутковые, патронные, центровые и патронно-центровые);
- типу применяемого управления ЧПУ.

Ограничением диаметра заготовки, обрабатываемой на станке, является не высота его центров, а условие исключения столкновений инструмента и заготовки, что определяется видом и размерами инструментов, а также расстоянием между ними при их установке в револьверной головке. В прутковых токарных станках диаметр заготовки ограничивается диаметром сквозного отверстия в шпинделе, поэтому основным размером токарного станка с ЧПУ считается (наряду с наибольшим диаметром устанавливаемой заготовки) наибольший диаметр обрабатываемого изделия. Обычно выпускаются станки с горизонтальной осью шпинделя с наибольшим диаметром обрабатываемой заготовки 125...5000 мм, прутковые станки имеют диаметр обработки 10...125 мм. Станки средних размеров обычно изготавливаются по классу точности П, а малых — иногда В.

Компоновка токарных станков с числовым программным управлением. Современные токарные станки с ЧПУ средних размеров имеют, как правило, оригинальную компоновку, позволяющую повысить их жесткость, улучшить защиту направляющих и винтовых передач, обеспечить свободный отвод стружки и удаление ее из рабочей зоны, применять загрузочные устройства любых типов, обеспечить свободный доступ к инструменту и приспособлениям, а также повысить безопасность работы.

В большинстве случаев станки с горизонтальной осью шпинделя имеют следующие компоновки: наклонную, вертикальную и угловую с задним по отношению к шпинделю расположением станины.

При наклонной компоновке (рис. 2.36) верхний *3* и нижний *7* суппорты движутся (координаты Z_1 и Z_2) по наклонным направляющим станины *8* (обычно под углом 60...75° к горизонтальной плоскости). Револьверные головки *4* и *6* имеют поперечные перемещения X_1 и X_2 соответственно. На станине устанавливается шпиндельная бабка *2*. Двигатель главного движения *1* обычно располагается на плите или кронштейне, установленном на торце станины. При патронно-центровом варианте станок оснащается задней бабкой *5*, имеющей для движения индивидуальный привод или перемещаемой с помощью продольного суппорта.

При вертикальной компоновке станины токарных станков с ЧПУ зеркало направляющих расположено под углом 90° к горизонту.

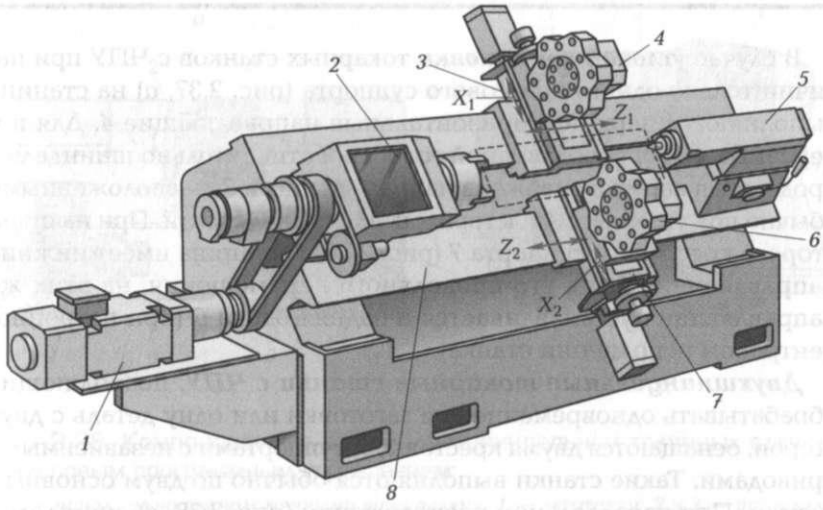


Рис. 2.36. Наклонная компоновка токарного станка с числовым программным управлением:

1 — двигатель главного движения; *2* — шпиндельная бабка; *3* — верхний суппорт; *4* и *6* — револьверные головки; *5* — задняя бабка; *7* — нижний суппорт; *8* — станина

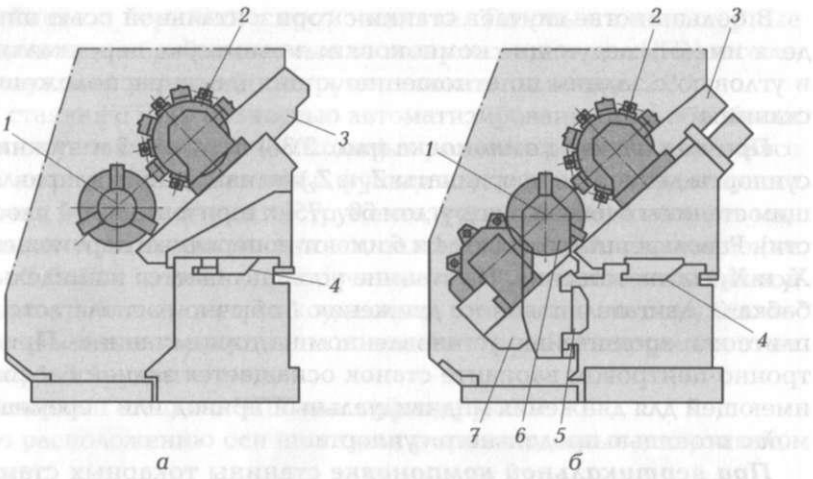


Рис. 2.37. Угловая компоновка токарных станков с числовым программным управлением:

а — с одним суппортом; *б* — с двумя суппортами; *1* — шпиндель; *2* — револьверная головка; *3* — угловые направляющие; *4* — верхние горизонтальные направляющие; *5* — нижние направляющие; *6* — задняя бабка; *7* — суппорт

В случае ***угловой компоновки*** токарных станков с ЧПУ при наличии только одного крестового суппорта (рис. 2.37, *а*) на станине выполняются верхние горизонтальные направляющие *4*. Для поперечных подач револьверной головки *2* относительно шпинделя *1* продольная каретка снабжена направляющими *3*, расположенными обычно под углом 30...45° к горизонтальной плоскости. При наличии второго крестового суппорта *7* (рис. 2.37, *б*) станина имеет нижние направляющие *5* для его продольного перемещения, на этих же направляющих устанавливается и задняя бабка *6* (при патронно-центровом исполнении станка).

Двухшпиндельные токарные станки с ЧПУ, позволяющие обрабатывать одновременно две заготовки или одну деталь с двух сторон, оснащаются двумя крестовыми суппортами с независимыми приводами. Такие станки выполняются обычно по двум основным схемам. При параллельном расположении (рис. 2.38, *а*) шпинделей *2* и *3* (существуют компоновки и с вертикальной осью шпинделей) переустановка заготовок *1* осуществляется чаще всего специальным манипулятором *6*, установленным на шпиндельном блоке *4*. Суппорты с револьверными головками *5* и *7* получают перемещения в двух взаимно-перпендикулярных направлениях (Z_1, X_1 и Z_2, X_2

соответственно) по наклонным (горизонтальным) направляющим станины.

При противоположном (оппозитном) расположении (рис. 2.38, *б*) неподвижных шпиндельных бабок *2* и *5* и координатном перемещении крестовых суппортов с револьверными головками *3* и *6* переустановка обрабатываемых заготовок *1* и *4* обычно осущест-

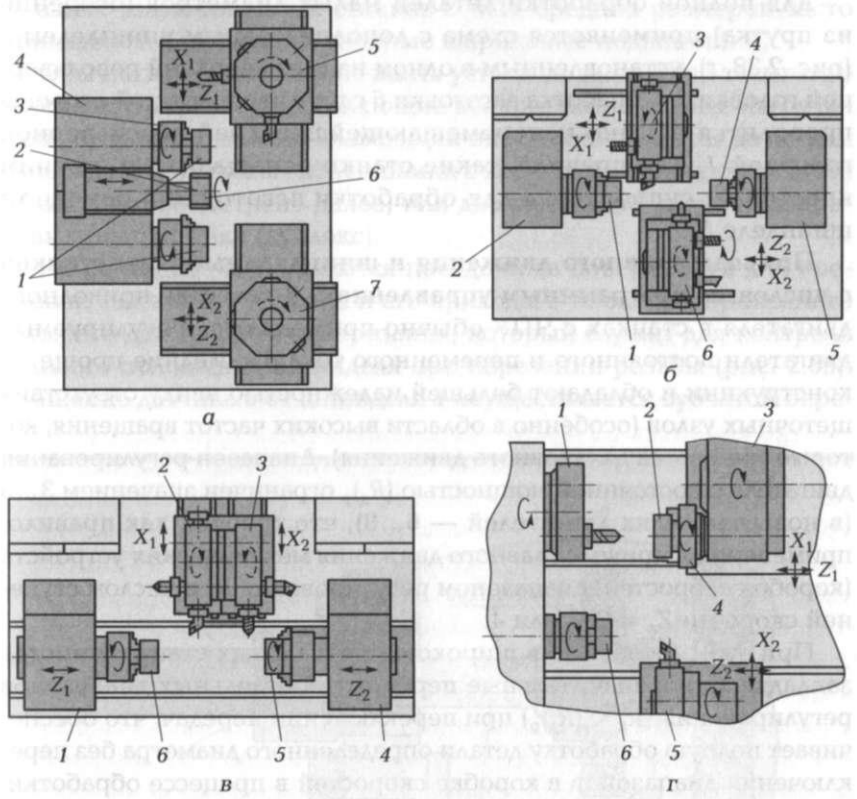


Рис. 2.38. Компоновочные схемы двухшпиндельных токарных станков с числовым программным управлением:

а — с параллельно расположенными шпинделями: *1* — заготовки; *2* и *3* — шпиндели; *4* — шпиндельный блок; *5* и *7* — револьверные головки; *6* — манипулятор; *б — с оппозитным расположением шпинделей*: *1* и *4* — заготовки; *2* и *5* — шпиндельные бабки; *3* и *6* — револьверные головки; *в — с перемещающимися шпиндельными бабками*: *1* и *4* — шпиндельные бабки; *2* и *3* — суппорты; *5* и *6* — заготовки; *г — с дополнительным шпинделем в револьверной головке*: *1* — неперемещающаяся револьверная головка; *2* — верхняя головка; *3* — дополнительный шпиндель; *4* — суппорт; *5* — основной шпиндель; *6* — заготовка

вляется портальными манипуляторами или одной из револьверных головок.

В настоящее время появились станки, в которых перемещения по координатам Z_1 и Z_2 выполняют шпиндельные бабки (рис. 2.38, *в*) *1* и *4*, а суппорты *2* и *3* имеют перемещения только по осям X_1 и X_2 соответственно. В этом случае переустановка заготовок *5* и *6* при двухсторонней обработке осуществляется перемещением одной из шпиндельных бабок.

Для полной обработки деталей малых диаметров (особенно из прутка) применяется схема с дополнительным шпинделем *3* (рис. 2.38, *г*), установленным в одном из гнезд верхней револьверной головки *2*. Обработка заготовки *6* с противоположной стороны проводится обычно неперемещающейся задней револьверной головкой *1*. Как правило, такие станки оснащаются и нижним крестовым суппортом *4* для обработки заготовки в основном шпинделе *5*.

Приводы главного движения и шпиндельные узлы станков с числовым программным управлением. В качестве приводного двигателя в станках с ЧПУ обычно применяются регулируемые двигатели постоянного и переменного тока. Последние проще по конструкции и обладают большей надежностью ввиду отсутствия щеточных узлов (особенно в области высоких частот вращения, которые требуются для главного движения). Диапазон регулирования двигателя с постоянной мощностью $(R_д)_р$ ограничен значением 3...5 (в новых моделях двигателей — 6...8), что требует, как правило, применения в приводе главного движения механических устройств (коробок скоростей) диапазоном регулирования $R_к$ и числом ступеней скорости $Z_к = 2, 3$ или 4.

При этом (особенно в широкоуниверсальных станках) иногда закладываются значительные перекрытия отдельных диапазонов регулирования ($R_к < (R_д)_р$) при переключении передач, что обеспечивает полную обработку детали определенного диаметра без переключения диапазонов в коробке скоростей в процессе обработки. Максимальное передаточное отношение коробки i_{max}, учитывая высокие частоты вращения двигателя, обычно равно 1, поэтому предельный диапазон регулирования двухваловой группы передач с прямозубыми колесами составляет $(R_{гр})_{пред} = i_{max}/i_{min} = 4$. Иногда для исключения влияния на положение шпинделя теплоты, выделяемой в коробке скоростей, применяется термическое разделение корпусов коробки скоростей и шпиндельной бабки.

При создании блочно-модульных конструкций токарных станков в приводах главного движения широко применяются унифициро-

ванные коробки скоростей (редукторы), кинематические и силовые характеристики которых соответствуют применяемым регулируемым электродвигателям. Такие соосные с двигателями компактные двухступенчатые зубчатые, реже планетарные коробки скоростей, прифланцовываются непосредственно к двигателю и могут иметь выход либо в виде вала под шкив ременной передачи, либо в виде зубчатого перебора.

В связи с увеличением максимальных частот вращения в шпиндельных узлах токарных станков с ЧПУ средних размеров часто применяются радиально-упорные шариковые подшипники.

Обычно в передней опоре винта устанавливаются три таких подшипника (триплекс), позволяющие воспринимать осевые нагрузки в обе стороны. В задней плавающей опоре размещаются двух- или однорядные роликовые подшипники с короткими цилиндрическими роликами (рассмотрено далее) или два радиально-упорных шариковых подшипника (дуплекс).

На шпинделе выполняются посадочные поверхности для крепления зажимного патрона и его привода, а также для приводного элемента датчика резьбонарезания, который служит для контроля углового положения шпинделя при нарезании резьбы (рис. 2.39). Вращение датчика *5* от шпинделя *1* осуществляется зубчатой пере-

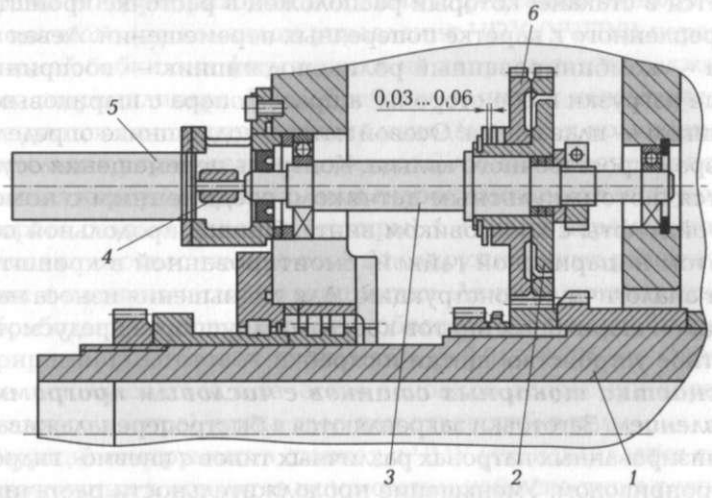


Рис. 2.39. Привод датчика резьбонарезания:

1 — шпиндель; *2* — колесо; *3* — вал; *4* — муфта; *5* — датчик резьбонарезания; *6* — венец

дачей с колесом *2*, жестко закрепляемым на валу *3* и в котором предусматривается выборка зазора при повороте венца *6* относительно колеса *2*. Датчик резьбонарезания *5* соединяется с валом *3* муфтой *4*. Иногда в соединении датчика резьбонарезания со шпинделем применяется беззазорная зубчато-ременная передача. Точность нарезания резьбы определяется разрешающей способностью датчика *5* (обычно 1 000 импульсов на один оборот шпинделя), а также структурой привода подачи и системой ЧПУ.

Приводы подач станков с числовым программным управлением. В большинстве современных станков с ЧПУ применяются безредукторные следящие приводы подач с регулируемыми двигателями постоянного и переменного тока и датчиками обратной связи, встроенными в двигатель, или соединяемыми беззазорной (обычно сильфонной) муфтой с ходовым винтом.

На станине станков крепятся стальные закаленные планки, на направляющих продольной каретки наклеены накладки из наполненного фторопласта. Регулирование зазора в направляющих осуществляется клиньями, а поперечное перемещение каретки — по аналогичным направляющим с планками и накладками. Поперечное перемещение каретки осуществляется от высокомоментного двигателя с помощью зубчато-ременной передачи, шкив которой жестко крепится на винте. Шариковая гайка, состоящая из двух полугаек с зубчатыми венцами (для регулирования натяга), монтируется в стакане, который расположен в расточке кронштейна, прикрепленного к каретке поперечных перемещений. Левая опора винта — комбинированный роликоподшипник — воспринимает осевые нагрузки в обе стороны, а правая опора с шариковым подшипником — плавающая. Осевой натяг в подшипнике определяется размером проставочного кольца. Контроль перемещения осуществляется фотоимпульсным датчиком, соединенным с помощью упругой муфты с хвостовиком винта. Привод продольной подачи с винтом и шариковой гайкой, смонтированной в кронштейне, имеет аналогичную конструкцию. Для уменьшения износа направляющих и шариковых винтов крестового суппорта предусмотрены защитное устройство, щитки и скребки.

Оснастка токарных станков с числовым программным управлением. Заготовки закрепляются в быстропереналаживаемых механизированных патронах различных типов с пневмо-, гидро- или электроприводом. Уменьшение продолжительности растачивания незакаленных кулачков после их установки в патроне достигается за счет их автоматической обработки по заранее заданной программе. Для исключения растачивания на станке применяются не-

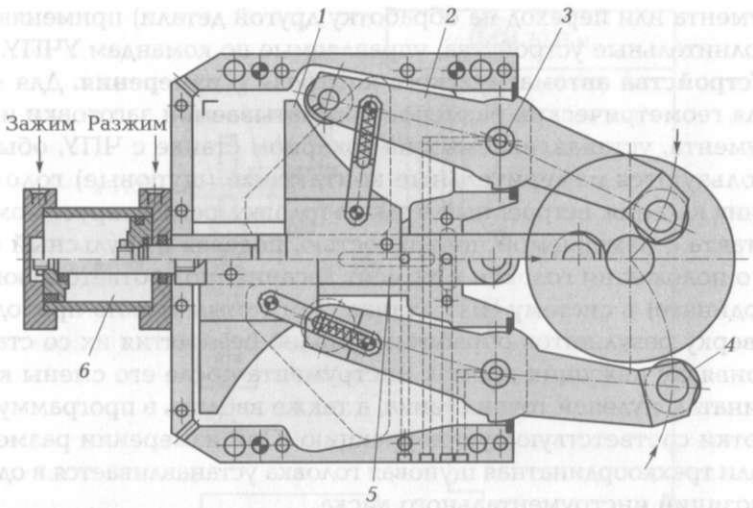


Рис. 2.40. Самоцентрирующий люнет:

1 — копир; *2* — рычаг; *3* — ось; *4* — ролик; *5* — плунжер; *6* — гидроцилиндр

закаленные накладные, заранее обработанные на заданный диаметр кулачки, фиксируемые в основных кулачках.

При обработке валов задняя бабка оснащается вращающимися центрами и гидроприводом поджима и фиксации пиноли. После установочного (по командам управления ЧПУ (УЧПУ)) перемещения задней бабки она фиксируется на направляющих также с помощью гидроцилиндра. При обработке длинных нежестких валов применяются самоцентрирующие неподвижные и подвижные (дополнительная управляемая координата) люнеты. Люнет (рис. 2.40) состоит из корпуса с пневмо- или гидроцилиндром *6*, с плунжером *5* которого связаны кулачки (копиры) *1*. При их перемещении поворачиваются относительно осей *3* подпружиненные рычаги *2* с роликами *4* на игольчатых подшипниках. Люнеты устанавливаются по обработанным поверхностям, обеспечивая большой диапазон центрирования заготовок с точностью до 0,01 ... 0,005 мм. Они могут также использоваться в качестве основной опоры при обработке (без заднего центра) конца вала или отверстий в нем.

Режущий инструмент в станках с ЧПУ устанавливается с помощью различных комплектов вспомогательной оснастки в револьверных головках или резцедержателях и дополнительных шпиндельных головках при автоматической смене из магазина. Для замены инструмента в револьверных головках (смена износившегося ин-

струмента или переход на обработку другой детали) применяются дополнительные устройства, управляемые по командам УЧПУ.

Устройства автоматического контроля и измерения. Для контроля геометрических размеров обрабатываемой заготовки и инструмента, устанавливаемых на токарном станке с ЧПУ, обычно используются измерительные контактные (щуповые) головки. Датчик касания, встроенный в такую головку, регистрирует момент контакта с измеряемой поверхностью, подавая импульсный сигнал о положении головки в момент касания (по соответствующей координате) в систему ЧПУ станка. Тем самым можно проводить проверку результатов обработки деталей без снятия их со станка и привязку режущих кромок инструмента после его смены к координатам нулевой точки станка, а также вводить в программу обработки соответствующую коррекцию. При измерении размеров детали трехкоординатная щуповая головка устанавливается в одной из позиций инструментального диска.

2.9.2. Фрезерные станки с числовым программным управлением

Фрезерные станки с ЧПУ эффективнее традиционных с ручным управлением из-за их повышенной производительности (более чем в 3 раза) и возможности обработки деталей без специальной дорогостоящей оснастки (шаблонов, фасонных фрез и т.д.). Важной характеристикой таких станков является число управляемых координат (от 2 до 5, но чаще 3), в том числе одновременно управляемых (обычно 2—3). Помимо прямолинейных перемещений во фрезерных станках с ЧПУ может программироваться поворот головки с заготовкой или наклон оси фрезерного шпинделя. Дискретность задания перемещения по осям координат обычно составляет 0,01 мм.

Наиболее распространены следующие компоновки фрезерных станков с ЧПУ: вертикальные с крестовым столом, продольные с подвижной (а иногда неподвижной) поперечиной и широкоуниверсальные инструментальные.

Бесконсольный (с крестовым столом) ***вертикально-фрезерный станок с ЧПУ*** (рис. 2.41) предназначен для выполнения универсальных фрезерных работ в условиях мелкосерийного производства. Такие станки могут выполнять операции сверления и растачивания, а также обеспечивать высокую жесткость станка и точность обработки благодаря отсутствию консоли под столом и подвижной

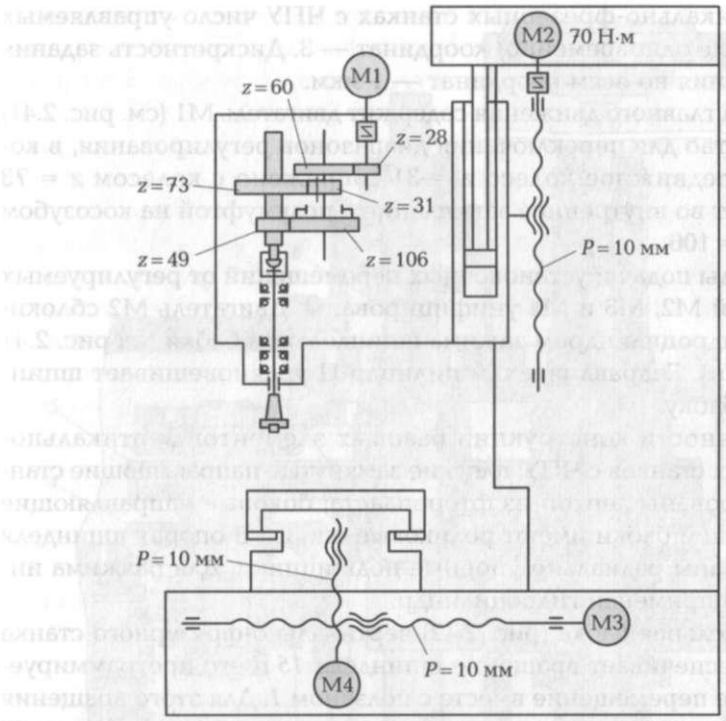


Рис. 2.41. Кинематическая схема фрезерного станка с числовым программным управлением

гильзы у шпинделя. Любые вертикальные перемещения выполняет шпиндельная бабка.

Технические характеристики вертикально-фрезерных станков с ЧПУ

Размеры рабочей поверхности стола (ширина × длина), мм ..... 800×2 000
Пределы частот вращения шпинделя, мин$^{-1}$ ..... 5...4 000
Пределы подач, мм/мин ..... 1...10 000
Скорость быстрого перемещения стола (бабки)
при бесступенчатом регулировании, м/мин 14

По ГОСТ 9726—89 для бесконсольных вертикально-фрезерных станков с ЧПУ по классу П установлены следующие допуски (мкм): на точность одностороннего позиционирования при длине перемещения 400...1 000 мм — 25; на отклонение от круглости отверстия, обработанного фрезой, — 12; на отклонение от прямолинейности наклонных граней — 20.

В вертикально-фрезерных станках с ЧПУ число управляемых (в том числе одновременно) координат — 3. Дискретность задания перемещения по осям координат — 1 мкм.

Привод главного движения содержит двигатель М1 (см. рис. 2.41) и устройство для переключения диапазонов регулирования, в котором передвижное колесо $z = 31$ сопряжено с колесом $z = 73$ или входит во внутреннее зацепление с полумуфтой на косозубом колесе $z = 106$.

Приводы подач и установочных перемещений от регулируемых двигателей М2, М3 и М4 унифицированы. Двигатель М2 сблокирован с гидроцилиндром зажима шпиндельной бабки (на рис. 2.41 не показан). Гидравлический цилиндр Ц уравновешивает шпиндельную бабку.

Особенности конструкции базовых элементов вертикально-фрезерных станков с ЧПУ: плоские замкнутые направляющие станков армированы лентой из фторопласта; боковые направляющие шпиндельной бабки имеют роликовые опоры. В опорах шпинделя использованы радиально-упорные подшипники. Для разжима инструмента применен гидроцилиндр.

Шпиндельная бабка (рис. 2.42) вертикально-фрезерного станка с ЧПУ обеспечивает вращение шпинделя *15* и его программируемое осевое перемещение вместе с ползуном *1*. Для этого вращения служат опоры качения с двухрядным роликовым *14* и упорными *13* шариковыми подшипниками снизу, парой радиально-упорных шарикоподшипников *10* сверху, а также зубчатые колеса *3*, *4*, *5*, *6*, *7*. Крутящий момент со шлицевой втулки *8* передается на хвостовик шпинделя.

Предварительный натяг в двухрядном роликовом подшипнике *14* зависит от длины кольца *16*, в подшипниках *13* — от регулирования гайки *12* (через технологическое отверстие, закрытое пробкой *11*), а в подшипниках *10* — от разности длин распорных колец. Ползун *1*, характерный для вертикальных станков с ЧПУ (вместо гильзы на станках без ЧПУ), перемещается по прямоугольным направляющим (на рис. 2.42 не показаны) с помощью шарикового ходового винта *17* и гайки *9*, винт получает вращение через редуктор (на рис. 2.42 не показан). Зажим инструмента в шпинделе — электромеханический, с использованием стандартного устройства, закрепленного на ползуне сверху. Благодаря центрирующему пояску, сопрягающему корпус бабки *2* со стойкой, можно регулировать наклон оси шпинделя.

Приспособления для фрезерных станков с числовым программным управлением. Некоторые фрезы крепятся непосредственно на шпинделе станка: крупные торцовые фрезы привертываются

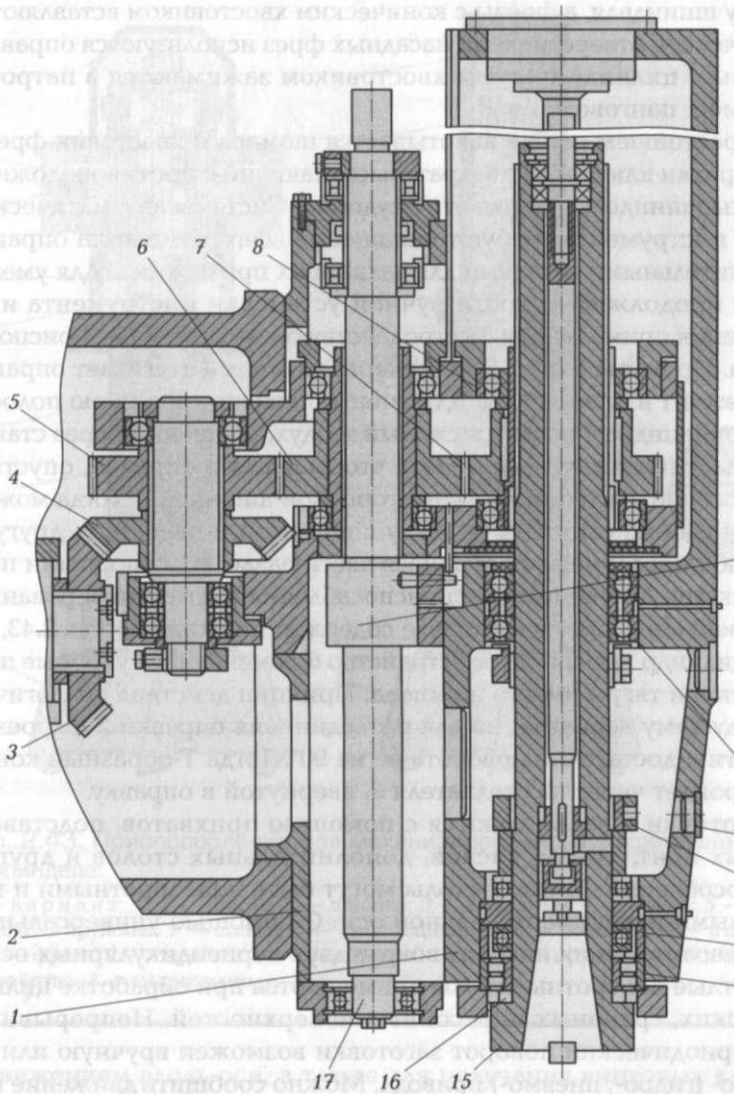


Рис. 2.42. Шпиндельная бабка с ползуном вертикально-фрезерного станка с числовым программным управлением:

1 — ползун; *2* — корпус бабки; *3, 4, 5, 6* и *7* — зубчатые колеса; *8* — втулка; *9* и *12* — гайки; *10* — радиально-упорные шариковые подшипники; *11* — пробка; *13* — упорные шариковые подшипники; *14* — двухрядный роликовый шариковый подшипник; *15* — шпиндель; *16* — кольцо; *17* — шариковый ходовой винт

к торцу шпинделя, а фрезы с коническим хвостовиком вставляются в коническое отверстие. Для насадных фрез используются оправки, а фрезы с цилиндрическим хвостовиком зажимаются в патроне, например, цанговом.

В простейшем случае ввертывается шомпол в хвостовик фрезы или оправки ключом за квадрат, выступающий с противоположной стороны шпинделя, однако это неудобно. Системы автоматической смены инструмента требуют оснащения всего комплекта оправок дополнительными деталями для захвата их при зажиме. Для уменьшения продолжительности ручной установки инструмента и ее облегчения применяются быстродействующие зажимные приспособления. Пружина *6* (рис. 2.43, *а*) через шомпол *4* втягивает оправку *3* с фрезой *1* в шпиндель *5*. Для смены оправки в верхнюю полость пневмоцилиндра *8* подается сжатый воздух, поршень *9* через стакан *7* сжимает пружину *6* настолько, чтобы фланец оправки, опустившись, освободился от контакта с торцовой шпонкой *2*. Тогда можно легко и удобно свинтить оправку с шомпола и навернуть другую. Вращающиеся и не вращающиеся части разделены упорными подшипниками. Другой вариант приспособления для механизированного закрепления фрез в шпинделе содержит пружину *5* (рис. 2.43, *б*), гидроцилиндр *7*, шариковое устройство *6*, заменяющее упорные подшипники, и тягу *4* вместо шомпола. Принцип действия аналогичен предыдущему варианту, но для разъединения оправки *2* (с фрезой *1*) и тяги *4* достаточно поворота ее на 90°. Тогда Т-образный конец тяги пройдет через паз толкателя *3*, ввернутой в оправку.

Заготовки и закрепляются с помощью прихватов, подставок, угловых плит, призм, тисков, дополнительных столов и других приспособлений. Тиски и столы могут быть неповоротными и поворотными вокруг вертикальной оси. С помощью универсальных тисков возможен их поворот вокруг двух перпендикулярных осей.

Круглые поворотные столы применяются при обработке цилиндрических, граненых и фасонных поверхностей. Непрерывный или периодический поворот заготовки возможен вручную или от электро- (гидро-, пневмо-) привода. Можно сообщить движение поворотному столу также от привода основного стола станка, а именно от правого конца продольного ходового винта через зубчатые колеса и карданный вал. Непрерывный поворот стола можно использовать для обработки заготовки по типу карусельно-фрезерных станков.

Делительные головки применяются в основном на консольно-фрезерных станках для установки заготовки и периодического поворота ее на заданные углы, например, для прорезания впадин у зубчатых венцов или непрерывного поворота, согласованного

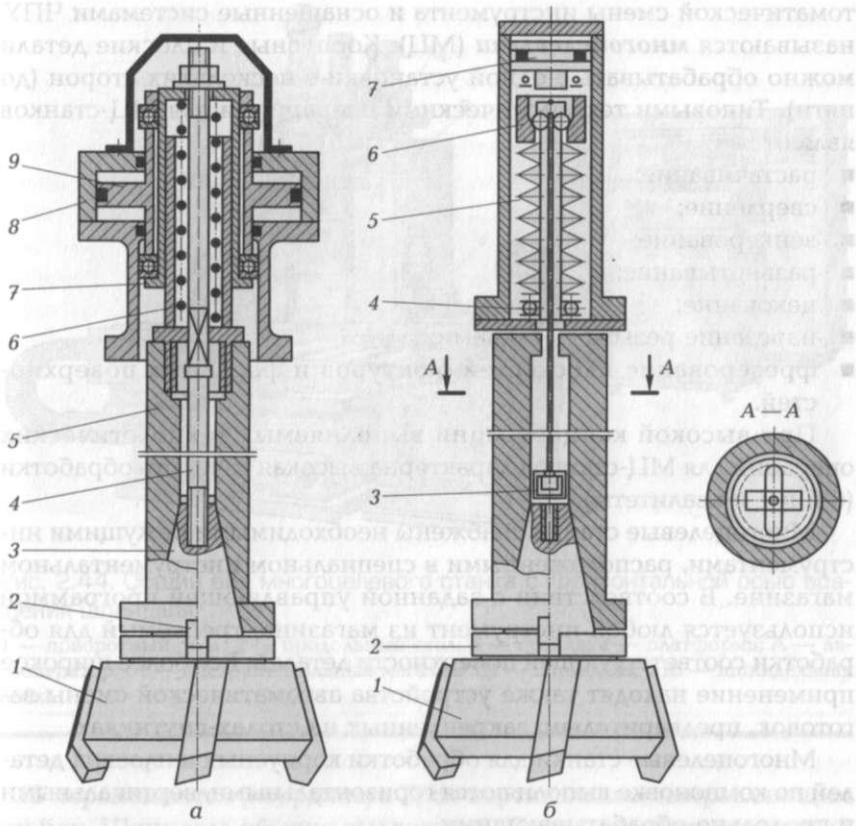


Рис. 2.43. Приспособление для механизированного закрепления фрез в шпинделе:

а — вариант: 1; *1* — фреза; *2* — шпонка; *3* — оправка; *4* — шомпол; *5* — шпиндель; *6* — пружина; *7* — стакан; *8* — пневмоцилиндр; *9* — поршень; *б* — вариант 2: *1* — фреза; *2* — оправка; *3* — толкатель; *4* — тяга; *5* — пружина; *6* — шариковое устройство; *7* — гидроцилиндр

с движением вдоль оси, а также для получения винтовых канавок на сверлах и других инструментах.

2.9.3. Многоцелевые станки для обработки корпусных и плоских деталей

Металлорежущие станки, предназначенные для выполнения большого количество различных технологических операций без переустановки обрабатываемых деталей, имеющие устройство ав-

томатической смены инструмента и оснащенные системами ЧПУ, называются ***многоцелевыми*** (МЦ). Корпусные и плоские детали можно обрабатывать с одной установки с нескольких сторон (до пяти). Типовыми технологическими операциями для МЦ-станков являются:

- растачивание;
- сверление;
- зенкерование;
- развертывание;
- цекование;
- нарезание резьбы метчиками;
- фрезерование плоскостей, контуров и фасонных поверхностей.

При высокой концентрации выполняемых технологических операций для МЦ-станков характерна высокая точность обработки (6-й и 7-й квалитеты).

Многоцелевые станки снабжены необходимыми режущими инструментами, расположенными в специальном инструментальном магазине. В соответствии с заданной управляющей программой используется любой инструмент из магазина, требуемый для обработки соответствующей поверхности деталей. Все более широкое применение находят также устройства автоматической смены заготовок, предварительно закрепленных на столах-спутниках.

Многоцелевые станки для обработки корпусных и плоских деталей по компоновке выполняются горизонтальными, вертикальными и продольно-обрабатывающими.

При горизонтальной компоновке МЦ (рис. 2.44) ось вращения шпинделя Ш расположена горизонтально, и такие станки чаще всего используются для обработки сложных корпусных деталей. Шпиндельная бабка ШБ перемещается (координата *Y*) по вертикальным направляющим стойки *3*, которая может быть подвижной (координата *Z*) или неподвижной. Некоторые станки имеют выдвижной шпиндель. На продольном столе *2* (координата *X*) расположен поворотный стол *1*. На верхнем торце стойки *3* смонтирован инструментальный магазин М. В устройство автоматической смены инструмента входит автооператор А. Поворотная платформа *4* служит для установки на столе-спутнике очередной заготовки при обработке предыдущей детали такой же или другой конфигурации.

На МЦ-станках вертикальной компоновки (рис. 2.45) ось вращения шпинделя Ш расположена вертикально. Такие станки удобны при обработке многих плоских деталей сложной формы (штампов, пресс-форм, рычагов, крышек, фланцев и др.). Шпиндельная бабка

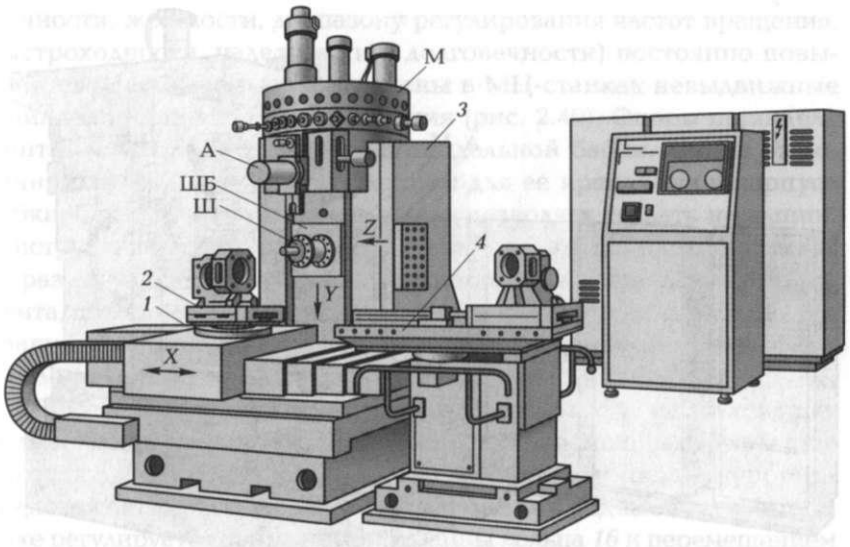


Рис. 2.44. Общий вид многоцелевого станка с горизонтальной осью вращения шпинделя:

1 — поворотный стол, *2* — продольный стол; *3* — стойка; *4* — платформа; А — автооператор; М — инструментальный магазин; Ш — шпиндель; ШБ — шпиндельная бабка

ШБ перемещается (координата *Z*) по вертикальным направляющим стойки. Шпиндель обычно выдвижной. Продольный и поперечный суппорты обеспечивают перемещение детали по координатам *X* и *Y*. Варианты конструкции инструментального магазина М и автооператора А в вертикальных МЦ весьма разнообразны.

Типоразмерные ряды МЦ-станков строятся по ширине стола (100...5 000 мм) с коэффициентом геометрической прогрессии 1,26. Перемещения рабочих органов назначаются по наибольшему размеру заготовок, устанавливаемых на стол, с учетом возможности выхода режущего инструмента за пределы обрабатываемых поверхностей. В условиях мелкосерийного и серийного производства доля машинного времени в общей продолжительности работы МЦ-станков достигает 70...90 % (для сравнения доля машинного времени на универсальных станках составляет 20...30 %), а производительность изготовления деталей превышает производительность обработки на универсальных станках до 5 раз.

Современные МЦ-станки имеют в приводах главного движения достаточно мощные электродвигатели с широким регулированием

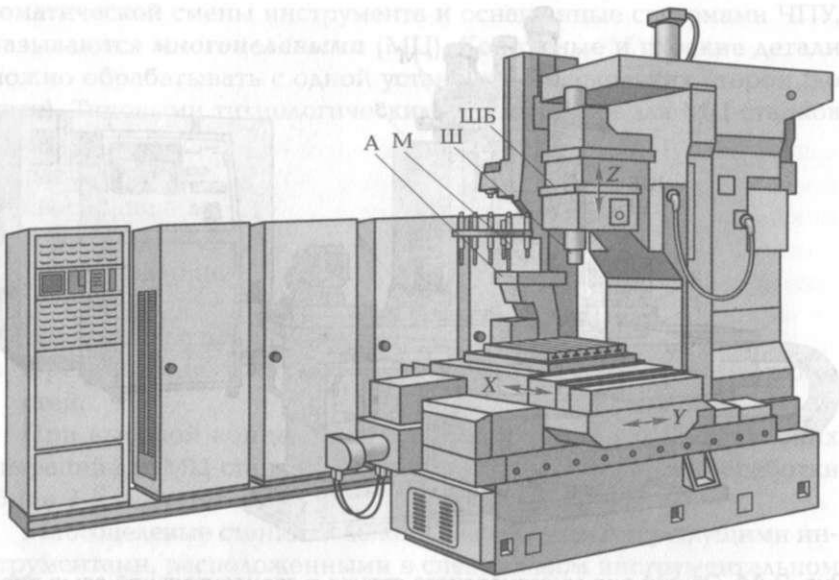


Рис. 2.45. Общий вид вертикального многоцелевого станка:

А — автооператор; М — инструментальный магазин; Ш — шпиндель; ШБ — шпиндельная бабка

частоты вращения, что обеспечивает работу каждого инструмента в оптимальных режимах. Диапазон регулирования частоты вращения таких электродвигателей от номинальной при постоянной мощности достигает 8:1, а при постоянном крутящем моменте — до 1:1 000. Механическая часть приводов главного движения МЦ-станка значительно упрощена и представляет собой двух- и трехступенчатую коробку скоростей, благодаря чему достигаются высокие динамические качества приводов.

Приводы подач МЦ-станка обеспечивают широкий диапазон регулирования рабочих подач (до 10 тыс. раз и более) при постоянном крутящем моменте, высокую скорость вспомогательных перемещений (до 20 м/мин), достаточные тяговые усилия, а также стабильность и надежность работы. Выполнение этих требований обусловливает широкие возможности МЦ-станков, их высокую точность и производительность.

Шпиндельные узлы МЦ-станка являются многофункциональными механизмами, которые служат для установки режущего инструмента, сообщения ему вращения и его автоматической замены. При этом требования к основным характеристикам шпиндельных узлов

(точности, жесткости, диапазону регулирования частот вращения, быстроходности, надежности и долговечности) постоянно повышаются. Наиболее распространены в МЦ-станках невыдвижные шпиндели на подшипниках качения (рис. 2.46). Опоры шпинделя монтируются либо в корпусе шпиндельной бабки, либо в вынесенной вперед гильзе *11* с фланцем для ее крепления в корпусе бабки. Такая конструкция шпинделя позволяет создать на единой конструктивной базе различные модификации шпиндельных узлов по размеру и конфигурации поверхностей для закрепления инструмента, диапазону регулирования частот вращения, положению оси вращения шпинделя, а также облегчает монтаж, регулирование и ремонт шпиндельных узлов.

Шпиндель *8* (см. рис. 2.46) установлен в гильзе *11* на двухрядных роликовых подшипниках *14* и *21*, воспринимающих радиальную нагрузку. Осевую нагрузку воспринимает шариковый упорно-радиальный подшипник *12*. Натяг в переднем радиальном подшипнике регулируется изменением толщины кольца *16* и перемещением через промежуточное кольцо *13* внутреннего кольца подшипника (с конической шейкой) гайками *9* и *10*. Натяг в аналогичном заднем подшипнике изменяется за счет толщины кольца *20* при затягивании болтов *7*, в результате чего через втулку *22* смещается внутреннее кольцо подшипника.

Крутящий момент на шпиндель передается от привода главного движения через зубчатую муфту *23*. Крутящий момент на режущий

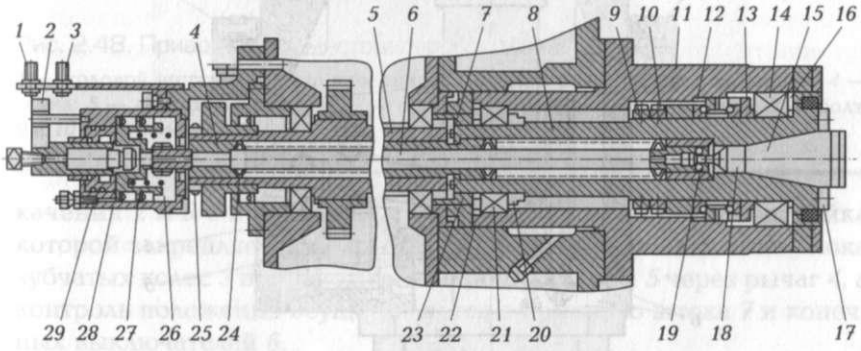


Рис. 2.46. Шпиндельный узел горизонтального многоцелевого станка:

1, *2* и *3* — датчики; *4* и *22* — втулки; *5* — ступица; *6* — тяга; *7* — болт; *8* — шпиндель; *9*, *10* и *25* — гайки; *11* — гильза; *12* — упорно-радиальный шарикоподшипник; *13*, *16* и *20* — кольца; *14* и *21* — роликовые подшипники; *15* — оправка; *17* — торцевые шпонки; *18* — хвостовик оправки; *19* — шарик; *23* — зубчатая муфта; *24* — тарельчатые пружины; *26* — канал; *27* — поршень; *28* — гидроблок; *29* — упор

инструмент передается через две торцевые шпонки *17*. Инструментальные оправки *15* базируются в шпинделе по коническому отверстию. Зажим оправок осуществляется тарельчатыми пружинами *24*, усилие зажима можно регулировать гайкой *25*. На переднем конце тяги *6* имеется замок, который при ее перемещении соединяется посредством шариков *19* с хвостовиком *18* оправки. Освобождение оправки выполняется гидроблоком *28* через втулку *4*, расположенную в ступице *5*. В поршне *27* гидроблока на подшипнике установлен упор *29*, который перемещает тягу *6*. Освобождение оправки инструмента контролируется бесконтактными датчиками *1*, *2* и *3*. Коническое отверстие шпинделя и конус оправки обдуваются сжатым воздухом через канал *26*.

На рис. 2.47 показано поперечное сечение шпиндельной бабки. Вертикальное перемещение бабки происходит в направляющих

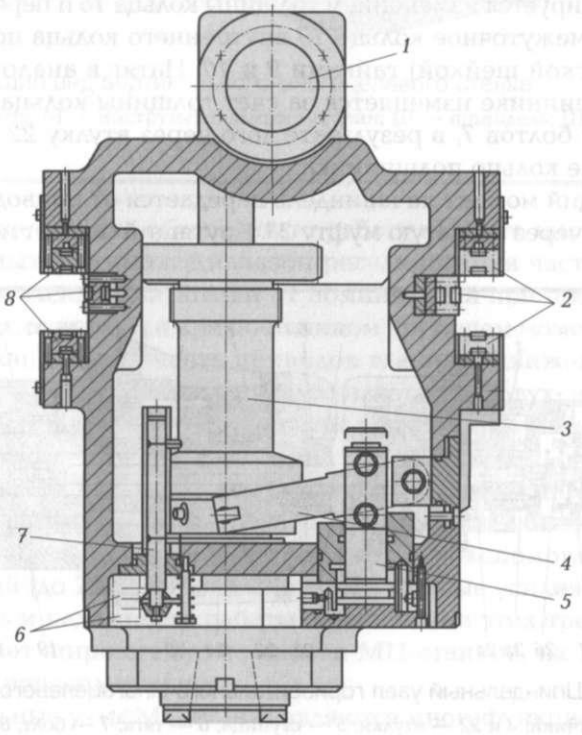


Рис. 2.47. Фрагмент шпиндельной бабки:

1 — фланец; *2* и *8* — направляющие качения; *3* — зубчатые колеса; *4* — рычаг; *5* — гидроцилиндр; *6* — выключатели; *7* — шток

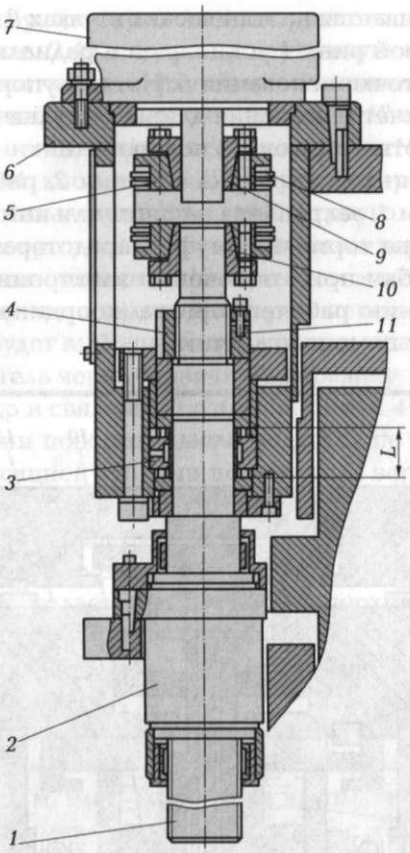


Рис. 2.48. Привод подач многоцелевого станка:

1 — ходовой винт; *2* — гайка качения; *3* — радиально-упорный подшипник; *4* — гайка; *5* — сильфонная муфта; *6* — основание; *7* — электродвигатель; *8* — болт; *9* и *10* — втулки; *11* — винт; *L* — длина втулки

качения *2* и *8* с помощью шариковой винтовой передачи, гайка которой закрепляется на фланце *1* корпуса. Переключение блока зубчатых колес *3* производится гидроцилиндром *5* через рычаг *4*, а контроль положения осуществляется с помощью штока *7* и конечных выключателей *6*.

На рис. 2.48 изображен вариант привода подач МЦ-станка на примере привода вертикальной подачи шпиндельной бабки (см. также рис. 2.44, координата *Y*). Регулируемый электродвигатель *7* закреплен на стойке МЦ с помощью основания *6*. Он соединен с ходовым винтом *1* винтовой пары качения через сильфонную муфту *5*,

которая устанавливается на конических втулках *9*, *10* и фиксируется болтами *8*. Ходовой винт *1* установлен в радиально-упорном подшипнике *3* в расточке основания *6*. Натяг в упорном подшипнике регулируется за счет изменения длины *L* втулки радиального подшипника при соответствующем повороте гайки *4* и последующем стопорении ее винтом *11*. Гайка качения *2*, работающая в паре с ходовым винтом *1*, закреплена на шпиндельной бабке. В электродвигатель встроена тормозная муфта, предотвращающая падение шпиндельной бабки при отключении электропитания. Обратная связь по положению рабочего органа (координата *Y* на рис. 2.44) осуществляется с помощью датчика.

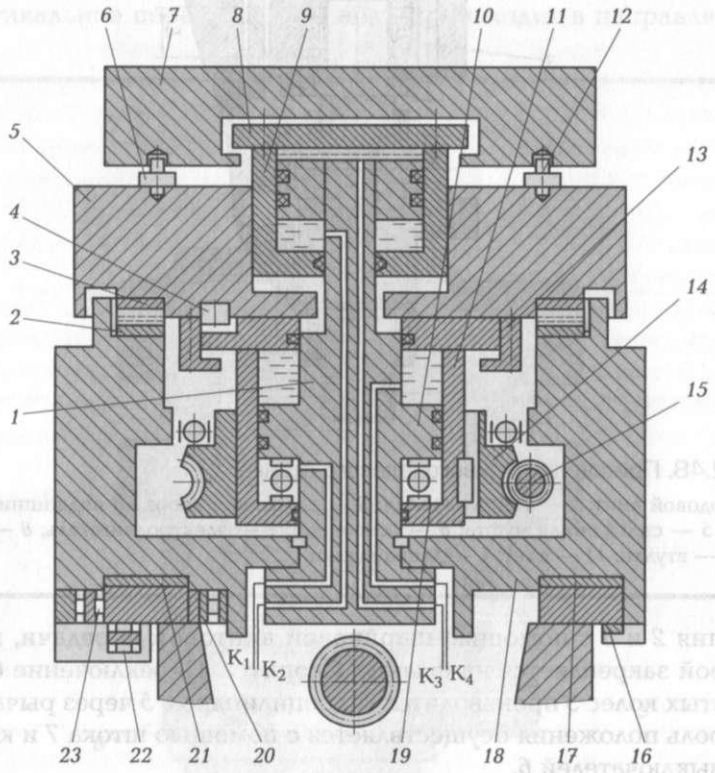


Рис. 2.49. Привод поворотного стола многоцелевого станка:

1 — неподвижная ось; *2* и *3* — полумуфты; *4* — шпонка; *5* — поворотный стол; *6* и *12* — пальцы; *7* — стол-спутник; *8* и *13* — фланцы; *9* и *11* — гидроцилиндры; *10* — поршень; *14* и *15* — червячная передача; *16*, *17* и *21* — накладки; *18* — корпус прямоугольного стола; *19* — упорный шарикоподшипник; *20*, *22* и *23* — направляющие качения

Вариант конструкции привода поворотного стола МЦ-станка, показанный на рис. 2.49, содержит червячную передачу *14* — *15*. Червяк *15* соединен через муфту с высокомоментным электродвигателем. Поворотный стол *5* вместе с фланцем *13* и гидроцилиндром *11* установлен на неподвижной оси *1* в корпусе *18* прямоугольного стола (см. рис. 2.44, координата *X*). Перед поворотом стола выводятся из зацепления полумуфты *2* и *3* с треугольным профилем, фиксирующие поворотный стол относительно корпуса *18*, для чего стол приподнимается поршнем *10*. При этом масло подается по каналу $К_4$, и стол вместе с гидроцилиндром перемещается вверх до тех пор, пока не будет выбран зазор в упорном шарикоподшипнике *19*. Электродвигатель через червячную передачу *14* — *15* поворачивает гидроцилиндр и связанный с ним шпонкой *4* стол на заданный угол. По окончании поворота масло подается по каналу $К_1$, и стол опускается с фиксацией зубьями полумуфт. В верхней части поворотного стола расположен гидроцилиндр *9* для закрепления столов-спутников *7*, которые базируются пальцами *6* и *12* и поджимаются фланцем *8* при подаче масла по каналу $К_2$. Для снятия спутников с фиксаторов масло подается по каналу $К_3$ в верхнюю полость гидроцилиндра *9*. Прямоугольный (основной) стол имеет направляющие скольжения с накладками *16*, *17* и *21* из фторопласта и роликовые направляющие качения *20*, *22* и *23*.

Многоцелевые станки отличает высокое быстродействие всех механизмов. Скорость вспомогательных перемещений приводов подач достигает 20 м/мин. Устройства автоматической смены инструмента обычно имеют цикл работы 3...6 с. Продолжительность автоматической смены заготовок при использовании столов-спутников может занимать 20...70 с. В то время как обрабатывается заготовка, установленная на одном из столов-спутников, на других столах-спутниках могут производиться следующие операции: смена обработанной заготовки на необработанную, переустановка и зажим частично обработанной заготовки в другое положение, доставка заготовки после обработки в позиции контроля или промывки, доставка детали на межоперационные транспортные устройства.

Комплект режущего и вспомогательного инструмента для МЦ-станка при обработке корпусных и плоских деталей показан на рис. 2.50. Вспомогательным инструментом является ряд шпиндельных оправок, переходных оправок и зажимных патронов. Непосредственно в шпинделе станка закрепляются: оправки *а*, *б* и *в* — для расточного инструмента; оправки *г*, *g* и *е* — для фрез с торцовой или продольной шпонкой, передающих крутящий момент режущему

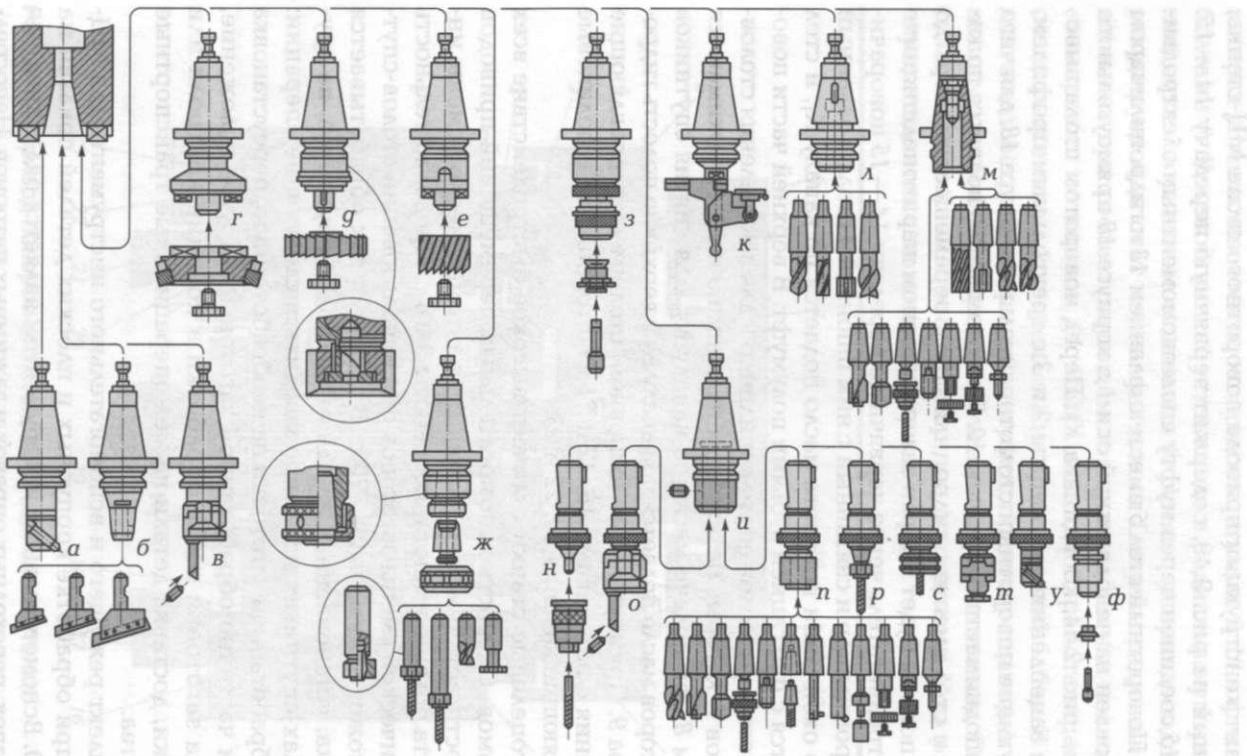


Рис. 2.50. Комплект режущего и вспомогательного инструмента для многоцелевого станка:

а, *б*, *в*, *г*, *д*, *е*, *л*, *м*, *н*, *о*, *п*, *р*, *с*, *т*, *у* и *ф* — оправки; *ж* — цанговый патрон; *з* — специальный патрон; *и* — патрон; *к* — оправка-центроискатель

инструменту; цанговый патрон *ж* — для сверл, зенкеров, разверток и небольших фрез, имеющих цилиндрический хвостовик; специальный патрон *з* — для метчиков; патрон *и* — для переходных оправок *н*, *о*, *п*, *р*, *с*, *т*, *у* и *ф*, позволяющих регулировать осевое положение инструмента; оправка-центроискатель *к*; оправка *л* — для концевого инструмента с конусом Морзе и поводком; оправка *м* — для концевого инструмента с конусом Морзе без поводка.

Чтобы захватить инструмент из магазина, корпус *4* автооператора (рис. 2.51) поднимается гидроцилиндром *6* по цилиндрическим направляющим *5* и *7*, и один из захватов фиксирует фланец соответствующей оправки. Захваты *9* и *10* с пружиной *13* и осями *11* и *12* смонтированы в корпусе *20*, соединенном с гильзой *18*. В крышке *17* гильзы закреплен шарикоподшипник *16*, посаженный на шток *15* гидроцилиндра *21*. При перемещении поршня *22* движется

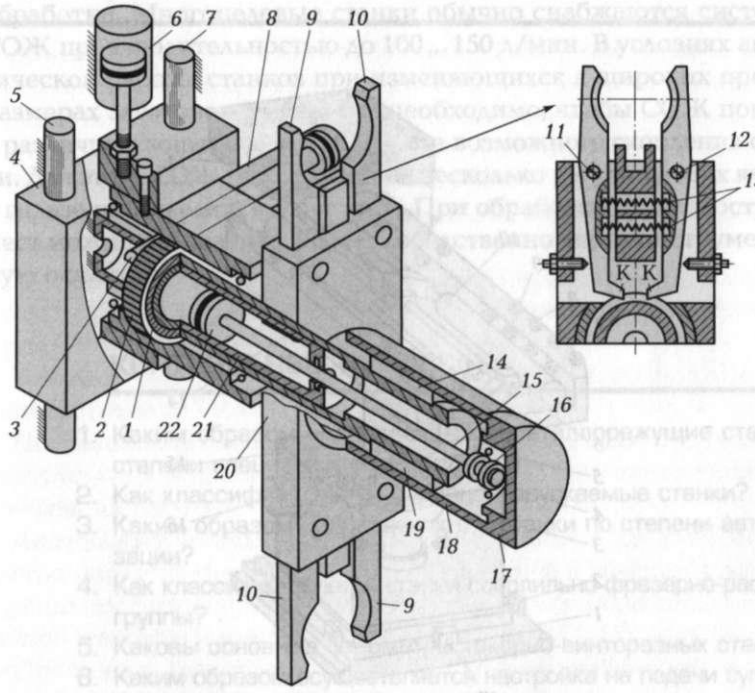


Рис. 2.51. Автооператор:

1 — стакан; *2* — зубчатый венец; *3* — рейка; *4* и *20* — корпуса; *5* и *7* — направляющие; *6*, *8* и *21* — гидроцилиндры; *9* и *10* — захваты; *11* и *12* — оси; *13* — пружина; *14* и *19* — шпонки; *15* — шток; *16* — шарикоподшипник; *17* — крышка; *18* — гильза; *22* — поршень

гильза *18* с захватами и оправки с режущим инструментом выводятся из гнезда магазина или из посадочного конуса шпинделя. Для поворота корпуса *20* с захватами на 180° служат гидроцилиндр *8* и рейка *3*, которая зацеплена с зубчатым венцом *2*, закрепленным на стакане *1*. Правая часть стакана соединена двумя шпонками *14* и *19* с гильзой *18*.

Устройство автоматической смены столов-спутников (спутников) с обрабатываемыми деталями показано на рис. 2.52 (см. также на рис. 2.44). Спутник *11* устанавливается на поворотную платформу *7* (вместимостью два спутника), на которой смонтированы гидроцилиндры *10* и *13* с Т-образными захватами *6* и *14* на штоках. При установке на платформу (перемещение по стрелке *Б*) спутник скобой *12* входит в зацепление с захватом *14*.

Спутник базируется в позиции ожидания и может перемещаться гидроцилиндром *10* по роликам *8* и *9*. Очередная заготовка закре-

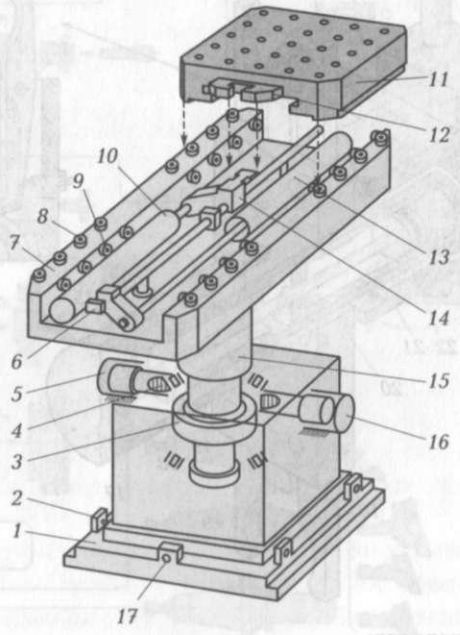


Рис. 2.52. Устройство автоматической смены столов-спутников:

1 — плита; *2* и *17* — болты; *3* и *4* — реечная передача; *5*, *10*, *13* и *16* — гидроцилиндры; *6* и *14* — Т-образные захваты; *7* — поворотная платформа; *8* и *9* — ролики; *11* — спутник; *12* — скоба; *15* — стойка

пляется на спутнике при обработке предыдущей заготовки в позиции ожидания или вне платформы.

После завершения обработки заготовки стол станка автоматически передвигается к устройству смены спутников и фигурная скоба спутника входит в зацепление с захватом *6*, предварительно выдвинутым штоком по стрелке *А*. Затем гидроцилиндром *13* спутник с обработанной заготовкой перемещается на платформу. Чтобы поменять два спутника местами, платформа со стойкой *15* поворачивается на 180° с помощью привода, имеющего гидроцилиндры *5* и *16* и реечную передачу *3—4*. Положение платформы относительно стола станка можно регулировать болтами *2* и *17*, расположенными на плите *1*.

Обработка на МЦ-станках с интенсивным и во многих случаях длительным процессом резания требует эффективного охлаждения смазочно-охлаждающей жидкостью (СОЖ) режущего инструмента и обрабатываемой заготовки, а также удаления стружки из зоны обработки. Многоцелевые станки обычно снабжаются системами СОЖ производительностью до 100...150 л/мин. В условиях автоматической работы станков при изменяющихся в широких пределах размерах заготовок и оснастки необходимо, чтобы СОЖ попадала в различные зоны обработки и места возможного скопления стружки. Для этого СОЖ подается через несколько регулируемых каналов в гильзе шпинделя и вокруг него. При обработке труднодоступных мест можно подавать СОЖ непосредственно через инструментальную оснастку.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким образом подразделяются металлорежущие станки по степени специализации?
2. Как классифицируются серийно выпускаемые станки?
3. Каким образом подразделяются станки по степени автоматизации?
4. Как классифицируются станки сверлильно-фрезерно-расточной группы?
5. Каковы основные параметры токарно-винторезных станков?
6. Каким образом осуществляется настройка на подачи суппортов при токарной обработке и нарезании стандартных резьб?
7. В каких отраслях применяются вертикально-сверлильные станки?
8. В каких случаях применяются горизонтально-сверлильные станки?

9. Какую производительность имеют строгальные станки?
10. Как подразделяются шлифовальные станки по назначению?
11. Перечислите типы универсальных шлифовальных станков.
12. Приведите примеры типовых элементарных поверхностей и режущие инструменты для токарных станков с ЧПУ.
13. Какие устройства автоматического контроля измерения для геометрических размеров обрабатываемой заготовки и инструмента устанавливаются на токарном станке с ЧПУ?
14. Приведите примеры наиболее распространенных компоновок фрезерных станков с ЧПУ.
15. Какие станки называют многоцелевыми?

Глава 3

ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

3.1. СУЩНОСТЬ ЯВЛЕНИЯ ИЗНОСА

Срок службы машин и станков определяется их износом — значительной утратой механизмом первоначальных эксплуатационных качеств.

Изнашивание — это необратимый процесс изменения размеров деталей в период эксплуатации машин. При этом, как правило, изменяется форма, размеры и состояние рабочих поверхностей деталей. При определенной величине таких изменений наступает резкое ухудшение эксплуатационных качеств отдельных деталей, механизмов и агрегата в целом, что вызывает необходимость его ремонта.

Детали оборудования изнашиваются неравномерно, в зависимости от условий работы одни детали изнашиваются быстрее, чем другие.

У машин бывают постепенные (износные) и внезапные (аварийные) отказы.

Постепенные отказы возникают при правильной эксплуатации в результате длительной работы машин, без заметного снижения качества их работы.

Аварийный отказ — это следствие износа деталей машин, быстро нарастающего (прогрессирующего) и в течение короткого периода достигающего размеров, при которых дальнейшая работа машин становится невозможной.

Причинами аварийных отказов могут быть плохой уход за машинами, в частности несоблюдение их режима смазки, значительные перегрузки машин при эксплуатации, а также несвоевременный или плохо выполненный ремонт.

Аварии в ряде случаев выводят оборудование из строя на длительный период, и на их устранение затрачивается много средств.

Одной из главных причин поломок деталей машин является отсутствие или неисправность предохранительных и блокирующих устройств, а также ограничителей движений.

Для некоторых деталей установлен предельно допустимый износ, т. е. величина износа, при которой дальнейшая эксплуатация этих деталей недопустима. Предельные износы деталей устанавливаются, руководствуясь следующими признаками:

- снижением прочности и надежности деталей;
- изменением характера сопряжения;
- влиянием изношенных деталей на работу других деталей сборочной единицы.

Интенсивность (быстрота) изнашивания деталей оборудования в большей степени зависит от условий и режима их работы, материала, характера смазки трущейся пары, удельного усилия и скорости скольжения, температуры в зоне сопряжения и окружающей среды (запыленность окружающего воздуха и др.).

Различаются следующие виды износа деталей: механический, молекулярно-механический и коррозионный.

Механический износ является результатом действия сил трения при скольжении одной детали по другой. При этом виде износа происходит истирание (срезание) поверхностного слоя металла у совместно работающих деталей, в результате чего они теряют свои геометрические размеры.

Механический износ возникает при работе таких распространенных сопряжений деталей, как вал-подшипник, станина-стол, поршень-цилиндр и др. Он появляется при трении качения поверхностей, так как этому виду трения неизбежно сопутствует трение скольжения, однако в подобных случаях износ бывает небольшим.

Величина и характер механического износа деталей зависят от физико-механических свойств верхних слоев металла, условий работы сопрягаемых поверхностей, давления, относительной скорости перемещения, условий смазки трущихся поверхностей, степени шероховатости последних и др.

Наиболее разрушительное действие на детали оказывает абразивный износ, который наблюдается при загрязнении трущихся поверхностей мелкими абразивными и металлическими частицами. Обычно такие частицы попадают на трущиеся поверхности при обработке на станке литых заготовок (деталей) или являются результатом изнашивания самих поверхностей, попадания пыли и др. Эти частицы длительный период сохраняют свои режущие свойства, образуют царапины, задиры и, смешиваясь с грязью,

выполняют роль абразивной пасты, посредством которой происходит интенсивное притирание и изнашивание сопрягаемых поверхностей.

Механический износ деталей зависит также от характера взаимодействия сопрягаемых поверхностей. Взаимодействие поверхностей деталей без относительного перемещения вызывает смятие металла, что характерно для шпоночных, шлицевых, резьбовых и других соединений.

При работе многие детали машин (валы, зубья зубчатых колес, шатуны, пружины, подшипники и др.) подвергаются длительному воздействию переменных нагрузок. Эти динамические нагрузки гораздо опаснее для прочности деталей, чем статические. При действии переменных нагрузок разрушение деталей происходит без заметных остаточных деформаций (хрупкий излом).

Механический износ может вызываться плохим уходом за деталями оборудования. Наступление износа ускоряется нарушениями в подаче смазки, несвоевременным и недоброкачественным ремонтом, а также сильной перегрузкой машин.

Разрушение материала от действия переменных нагрузок вызывается его усталостью. Валы, пружины и другие детали разрушаются от усталости в поперечном сечении. При этом получается характерный вид излома с зоной развивавшихся трещин и зоной, по которой произошел излом. Поверхность первой зоны гладкая, а второй — с раковинами, и иногда зернистая.

Для предотвращения разрушения от усталости важно правильно выбрать размеры поперечного сечения вновь изготовляемой или ремонтируемой детали и сделать деталь без резких переходов от одного размера к другому. Следует помнить, что грубо обработанная поверхность, наличие рисок и царапин могут стать причиной возникновения трещин усталости.

Правильная эксплуатация, своевременный и хорошо выполненный ремонт, как правило, исключают возможность аварий и значительно увеличивают долговечность машин.

Молекулярно-механический износ деталей заключается в прилипании (схватывании) одной поверхности к другой. Это явление наблюдается при недостаточной смазке и значительном удельном давлении, когда две поверхности сближаются настолько плотно, что начинают действовать молекулярные силы, приводящие к схватыванию поверхностей при трении.

Коррозия обычно появляется у деталей машин и установок, испытывающих непосредственное воздействие воды, воздуха, химических веществ и температуры воздуха. Если температура воздуха

в производственных помещениях неустойчива, то каждый раз при ее повышении содержащиеся в воздухе водяные пары, соприкасаясь с более холодными металлическими деталями, осаждаются на них в виде конденсата. Это вызывает ржавление металла, т.е. его соединение с кислородом воздуха.

Под влиянием коррозии в деталях образуются глубокие разъедания, материал приобретает губчатую поверхность и теряет механическую прочность. Эти явления наблюдаются, в частности, у деталей гидравлических прессов и паровых молотов, работающих в среде пара или воды.

Обычно коррозионный износ сопровождается механическим в силу сопряжения одной детали с другой. В этом случае происходит коррозионно-механическое изнашивание, т.е. комплексный износ.

3.2. ХАРАКТЕР ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ

Механический износ деталей, имеющих направляющие плоскости, обычно происходит неравномерно по их длине. В результате износа нарушаются плоскостность, прямолинейность и параллельность направляющих, в некоторых случаях и перпендикулярность каким-либо поверхностям.

Неравномерный износ — результат действия на поверхность направляющих по их длине неодинаковых нагрузок. Например, прямолинейные направляющие станины станка под влиянием больших местных нагрузок приобретают вогнутость в средней части, а сопрягаемые с ними короткие направляющие стола становятся выпуклыми (рис 3.1, *а*), появляются надиры.

Цилиндры и гильзы поршней в двигателях, компрессорах, молотах и других машинах изнашиваются тоже неравномерно (рис. 3.1, *б*). Износ происходит на участке движения поршневых колец и проявляется в виде выработки внутренних стенок цилиндра или гильзы. Искажается форма отверстия цилиндра (образуется нецилиндричность, некруглость или бочкообразность), возникают задиры (рис. 3.1, *в*) и другие дефекты.

У цилиндров двигателей внутреннего сгорания наибольшему износу подвергается их верхняя часть, испытывающая самые высокие давления и наибольшие температуры. В кузнечно-прессовом оборудовании, наоборот, наибольший износ появляется в нижней части цилиндра — там, где находится поршень при ударах.

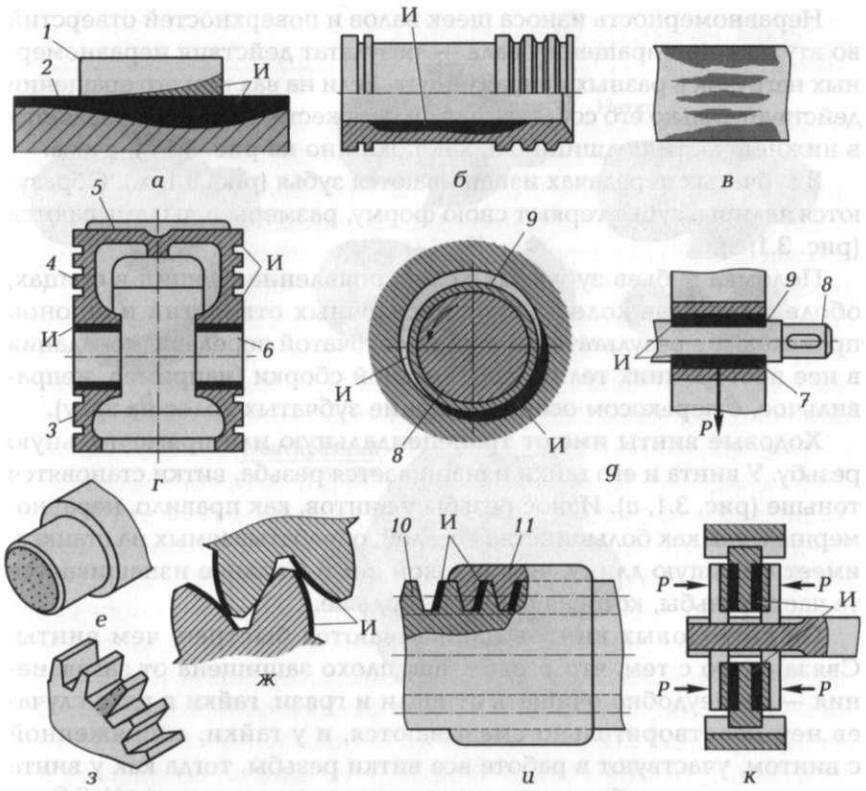


Рис. 3.1. Характер износа деталей:

а — износ направляющей стола; *б* — износ внутренних поверхностей цилиндра; *в* — задиры на поверхности золотника; *г* — износ поршня; *д* — износ вала; *е* — усталостная поломка вала; *ж* — износ зубьев колеса; *з* — поломка зуба; *и* — износ резьбы винта и гайки; *к* — износ дисковой фрикционной муфты: *1* — стол; *2* — станина; *3* — юбка; *4* — перемычка; *5* — днище; *6* — отверстие; *7* — подшипник; *8* — шейка вала; *9* — зазор; *10* — винт; *11* — гайка колеса; И — места износа

Износ поршня (рис. 3.1, *г*) выражается в истирании и задирах на юбке *3*, изломе перемычек *4* между канавками, появлении трещин в днище *5* и разработке отверстия *6* под поршневой палец.

Износ валов (рис. 3.1, *д*) проявляется в их деформации. Валы становятся изогнутыми, скрученными и изломанными (рис. 3.1, *е*). На шейках валов образуются задиры, и цилиндрические шейки становятся конусными, бочкообразными или некруглыми. Конусность приобретают также цилиндрические отверстия подшипников скольжения и втулок. Сечение отверстий становится некруглым.

Неравномерность износа шеек валов и поверхностей отверстий во втулках при вращении вала — результат действия неравномерных нагрузок в разных направлениях. Если на вал при его вращении действует только его собственная сила тяжести, то износ появляется в нижней части подшипника, как показано на рис. 3.1, *g*, слева.

В зубчатых передачах изнашиваются зубья (рис. 3.1, *ж*). Образуются задиры, зубья теряют свою форму, размеры и выламываются (рис. 3.1, *з*).

Поломка зубьев зубчатых колес, появление трещин в спицах, ободе и ступице колес, износ посадочных отверстий и шпонок происходит в результате перегрузки зубчатой передачи, попадания в нее посторонних тел и неправильной сборки (например, неправильное, с перекосом осей, крепление зубчатых колес на валу).

Ходовые винты имеют трапецеидальную или прямоугольную резьбу. У винта и его гайки изнашивается резьба, витки становятся тоньше (рис. 3.1, *и*). Износ резьбы у винтов, как правило, неравномерный, так как большинство деталей, обрабатываемых на станках, имеет меньшую длину, чем ходовой винт. Сильнее изнашивается та часть резьбы, которая работает больше.

Гайки ходовых винтов изнашиваются быстрее, чем винты. Связано это с тем, что резьба гаек плохо защищена от загрязнения — ее неудобно очищать от пыли и грязи, гайки в ряде случаев неудовлетворительно смазываются, и у гайки, сопряженной с винтом, участвуют в работе все витки резьбы, тогда как у винта одновременно работает только часть его витков, равная числу витков гайки.

У дисковых муфт в результате действия сил трения наибольшему износу подвергаются торцы дисков (рис. 3.1, *к*). Торцовые поверхности истираются, и на них появляются задиры, нарушается их плоскостность.

В резьбовых соединениях наиболее часто изнашивается профиль резьбы, в результате в них увеличивается зазор. Это наблюдается в сопряжениях не только ходовых, но и зажимных винтов и часто отвертываемых крепежных болтов.

Износ резьбовых соединений — результат недостаточной или, наоборот, чрезмерной затяжки винтов и гаек. Особенно интенсивен этот износ, если работающее соединение воспринимает большие или знакопеременные нагрузки. Болты и винты растягиваются, искажается шаг резьбы и ее профиль, гайка начинает «заедать». В этих случаях возможны аварийные поломки деталей соединения. Грани головок болтов и гаек чаще всего изнашиваются из-за отвертывания их неисправными ключами.

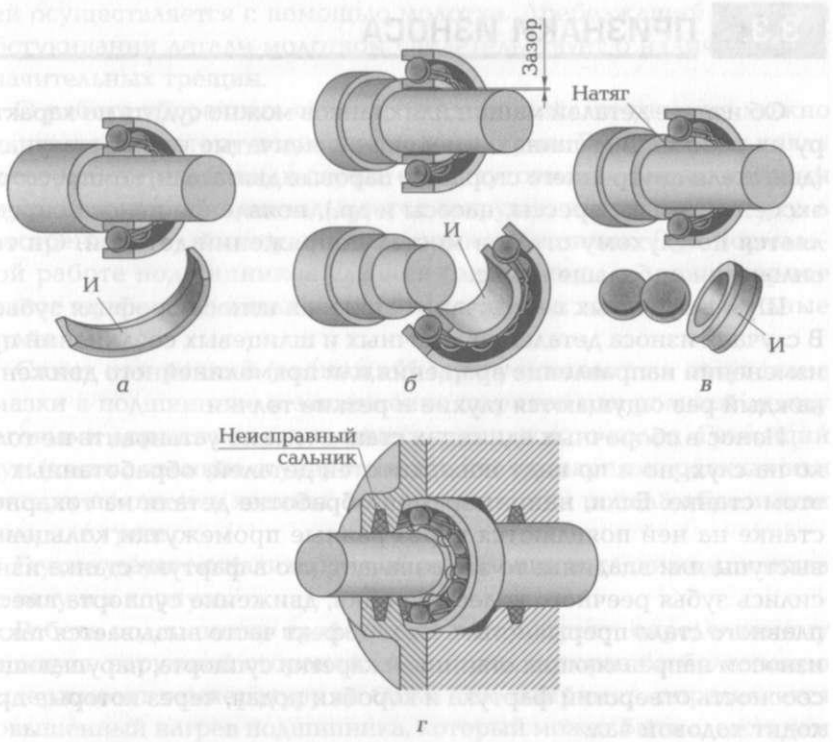


Рис. 3.2. Износ подшипников качения:

а — вследствие перекоса; *б* — внутреннего кольца при проворачивании его на валу; *в* — в результате чрезмерного натяга; *г* — из-за неисправного сальника; И — места износа

В шпоночных соединениях изнашиваются как шпонки, так и шпоночные пазы. Возможными причинами этого являются ослабление посадки детали на валу и неправильная подгонка шпонки по гнезду.

В подшипниках качения износу подвержены рабочие поверхности. На них появляются язвины и точки, наблюдается шелушение поверхностей беговых дорожек и шариков. Под действием динамических нагрузок происходит усталостное разрушение поверхностей качения. Из-за плотных посадок подшипников на вал и в корпус шарики и ролики защемляются между кольцами, в результате возможны перекосы колец при монтаже и другие нежелательные последствия. На рис. 3.2, *а* — *г* показаны виды износа колец подшипника.

3.3. ПРИЗНАКИ ИЗНОСА

Об износе деталей машин или станков можно судить по характеру их работы. В машинах, имеющих коленчатые валы с шатунами (двигатели внутреннего сгорания, паровые двигатели, компрессоры, эксцентриковые прессы, насосы и др.), появление износа определяется по глухому стуку в местах сопряжений деталей. Он тем сильнее, чем больше износ.

Шум в зубчатых передачах — признак износа профиля зубьев. В случаях износа деталей шпоночных и шлицевых соединений при изменении направление вращения или прямолинейного движения каждый раз ощущаются глухие и резкие толчки.

Износ в сборочных единицах станка можно установить не только на слух, но и по виду поверхностей деталей, обработанных на этом станке. Если, например, при обработке детали на токарном станке на ней появляются через равные промежутки кольцевые выступы или впадины, то это означает, что в фартуке станка износились зубья реечного колеса и рейки, движение суппорта вместо плавного стало прерывистым. Этот дефект часто вызывается также износом направляющих станины и каретки суппорта, нарушающим соосность отверстий фартука и коробки подач, через которые проходит ходовой вал.

Следы дробления на обтачиваемом валике, установленном в коническом отверстии шпинделя, свидетельствуют об увеличении зазора между шейками шпинделя и его подшипниками вследствие их износа. Когда обрабатываемая на токарном станке деталь получается конусной, значит изношены подшипники шпинделя (главным образом передний) и направляющие станины, а когда овальной — изношена шейка шпинделя, принявшая форму овала.

Увеличение мертвого хода рукояток, укрепленных на винтах сверх допустимого, — признак резьбы винтов и гаек.

Под мертвым ходом понимается некоторый свободный угол поворота рукоятки, прежде чем она заставит двигаться соединенную с ней деталь. Для суппорта токарного станка допустимый мертвый ход рукоятки $^{1}/_{40}$ оборота винта.

Об износе деталей машин часто судят по появившимся на них царапинам, бороздкам и забоинам, а также изменению их формы. Детали машин, работающие со значительными знакопеременными нагрузками, следует осматривать через увеличительное стекло (лупу), проверяя наличие мелких трещин, которые могут послужить причиной поломки. В некоторых случаях проверка таких дета-

лей осуществляется с помощью молотка. Дребезжащий звук при обстукивании детали молотком свидетельствует о наличии в ней значительных трещин.

О работе сборочных единиц с подшипниками качения можно судить по характеру издаваемого ими шума. Выполняется такая проверка стетоскопом, в случае его отсутствия — металлическим прутком, который прикладывается закругленным концом к уху, а заостренным — к месту, где находится подшипник. При нормальной работе подшипников слышен слабый шум — равномерное тонкое жужжание, а если их работа нарушена, возникают сильные шумы.

Свист или резкий (звенящий) шум указывает на отсутствие смазки в подшипнике и защемление шариков или роликов между беговыми дорожками внутреннего и наружного колец. Гремящий шум (частые звонкие стуки) означает, что на шариках, роликах или кольцах появились язвины, или в подшипник попала абразивная пыль или грязь.

Глухие удары сигнализируют об ослаблении посадки подшипника на валу и в корпусе.

Работа подшипника проверяется и по нагреву, определяемому на ощупь наружной стороной кисти руки, которая безболезненно выдерживает температуру до 60 °С. Так, например, определяется повышенный нагрев подшипника, который может быть следствием защемления шариков или роликов между беговыми дорожками в результате несоосности опор, или возникать из-за отсутствия смазки, особенно при вращении вала с большой скоростью. Перегрев подшипника может появиться при больших скоростях вращения вала также в случае избытка смазочного масла или его повышенной вязкости, которые создают дополнительное сопротивление вращению вала. Значительный нагрев подшипников вызывает их ускоренный износ.

Тугое провертывание вала свидетельствует об отсутствии соосности между ним и подшипником или о чрезмерно тугой посадке подшипника на валу или в корпусе.

Дребезжащий стук в цилиндре компрессора сигнализирует о поломке или повышенном износе поршневых колец. Глухой стук в цилиндре характеризует износ поршня и цилиндра. Стук маховика может быть следствием нарушения посадки его на валу.

Недостаточное давление в пневмосистеме является результатом утечки сжатого воздуха из соединений трубопроводов, пробуксовки приводных ремней, износа цилиндра, поршня и других деталей компрессора.

3.4. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ИЗНОСЫ

Для повышения долговечности оборудования очень важно знать и уметь назначать величины предельных износов для различных деталей машин. Точное установление величин предельных износов для многочисленных видов деталей в станках и машинах самых разнообразных типов и назначений исходя из предъявляемых к ним специфических требований является трудной задачей.

Далее для примера приводятся нормы износа некоторых деталей, взятые из практики передовых ремонтных служб заводов.

Для станков повышенной точности (прецизионное оборудование) износ направляющих считается предельным 0,02...0,03 мм на длине 1 000 мм, а для оборудования нормальной точности — 0,1...0,2 мм на длине 1 000 мм.

Износ шеек валов, установленных в подшипниках скольжения (втулках) без компенсирующих устройств, коробках подач, фартуках и в других механизмах, допускается в пределах 0,001...0,01 диаметра вала в зависимости от его точности. Соответствующие данные приведены в табл. 3.1.

Допустимый износ шеек шпинделей — 0,01...0,05 мм — зависит от требований к точности, предъявляемых к станку. Износ шеек валов под подшипники качения не должен превышать 0,03...0,04 мм, а износ шлицов по ширине — 0,1...0,15 мм.

В зубчатых передачах допускается износ стальных зубьев по толщине, указанной в табл. 3.2.

Таблица 3.1. Допустимые без ремонта зазоры в сборочных единицах вал — подшипник в зависимости от точности, мм

Диаметр вала, мм	Механизмы неответственные	Механизмы ответственные, работающие при частоте вращения вала, мин$^{-1}$			
		менее 1 000		более 1 000	
		и удельной нагрузке, кгс/см^2			
		до 30	более 30	до 30	более 30
50...80	0,5	0,20	0,10	0,30	0,15
80...120	0,8	0,25	0,15	0,35	0,20
120...180	1,2	0,30	0,20	0,40	0,25
180...260	1,6	0,40	0,25	0,60	0,35
260...360	2,0	0,50	0,30	0,70	0,45

Таблица 3.2. Износ стальных зубьев колес и соответствующие типы ремонта

Режимы работы	Скорость, м/с	Максимальный предельный износ, % к номинальной толщине зуба на начальной окружности, при ремонте	
		малом	капитальном
Передача мощности в одном направлении без ударной нагрузки	До 2	20	10
	2...5	15	6
	Более 5	10	5
Передача реверсивная при ударной нагрузке	До 2	15	5
	2...5	10	5

Примечание. Для чугунных зубчатых колес данные, приведенные в табл. 3.2, уменьшаются на 30 %.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что ускоряет процесс износа промышленного оборудования и каковы пути уменьшения этого износа?
2. Какими мерами уменьшается износ направляющих станков?
3. Объясните сущность механического, молекулярно-механического и коррозионного износа.
4. Как определяется износ деталей?

Глава 4

СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ СВАРКОЙ И НАПЛАВКОЙ

4.1. ВИДЫ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

4.1.1. Общие сведения

На ремонтных предприятиях сваркой и наплавкой восстанавливается более 50 % деталей технологических машин. Сварка применяется для заделки трещин, пробоин, отколов и устранения других механических повреждений деталей, наплавка — для восстановления размеров изношенных поверхностей деталей и увеличения их износостойкости.

Широкое распространение при ремонте деталей машин сварки и наплавки объясняется быстротой выполнения операций, относительной несложностью технологического оборудования и экономичностью процессов. Однако сварка и наплавка имеют ряд недостатков: изменение структуры основного металла в зоне термического влияния и появление местных напряжений, приводящее к короблению деталей, снижению усталостной прочности и даже к образованию трещин; затруднения при сварке и наплавке деталей из высокоуглеродистых и легированных сталей, а также деталей, изготовленных из чугуна.

При ремонте технологических машин наибольшее распространение получили дуговая и газовая сварка и наплавка деталей.

4.1.2. Дуговая сварка и наплавка

Дуговая сварка заключается в том, что кромки деталей и конец электрода разогреваются мощным источником теплоты — электрической дугой, возникающей между электродом и свариваемыми деталями. В результате этого образуется ванна из жидкого металла, состоящего из свариваемого металла и материала электрода. Жидкий металл, перемешиваясь, заполняет стык в свариваемых деталях и по-

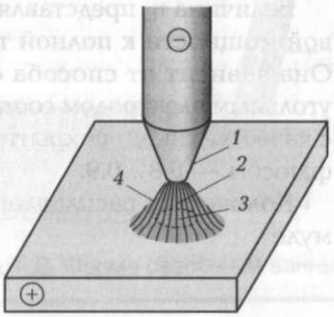


Рис. 4.1. Схема дугового разряда:
1 — катод; *2* — столб дугового разряда; *3* — анод; *4* — пламя сварочной дуги

сле остывания образует шов. Для защиты жидкого металла от вредного воздействия окружающей среды электроды покрываются специальными обмазками или процесс выполняется в защитных средах (углекислый газ, аргон, азот или их комбинации). Когда защитной средой является сыпучая смесь (флюсы), процесс называется сваркой под слоем флюса.

Электрическая дуга представляет собой мощный электрический разряд в сильно ионизированной смеси газов и паров, образовавшихся из свариваемого металла, материала электрода и защитной среды.

На рис. 4.1 показана схема дугового разряда. Форма и размеры электрической дуги определяются силой тока, материалом и диаметром электрода, а также составом и давлением газов.

Источники питания сварочной дуги. Для дуговой сварки и наплавки используются источники переменного или постоянного тока.

К ***источникам переменного тока*** относятся сварочные трансформаторы. Сварочный ток регулируется изменением расстояния между вторичной и первичной обмотками или переключением числа витков вторичной обмотки. Для ручной сварки, наплавки и резки металлов используются трансформаторы ТС-55, ТС-300, ТД-300, ТД-500, ОСТА-350 и др. В индексации моделей трансформаторов числа 55, 300, 350 и 500 означают номинальную силу сварочного тока в амперах (А).

Источники постоянного тока подразделяются на сварочные выпрямители (ВДГ-301, ВДГ-302 и др.) и сварочные преобразователи и агрегаты (ПСО-300, ПС-500 и др.), состоящие из электродвигателя переменного тока и генератора постоянного тока.

Плавление, перенос металла и формирование шва. Эффективная тепловая мощность электрической дуги, Вт, рассчитывается по формуле

$$q_э = U_д I_{св} \eta_э, \qquad (4.1)$$

где $U_д$ — напряжение дуги, В; $I_{св}$ — сила сварочного тока, А; $\eta_э$ — эффективный КПД процесса наплавки.

Величина $\eta_э$ представляет собой отношение эффективной тепловой мощности к полной тепловой мощности электрической дуги. Она зависит от способа сварки и при наплавке открытой дугой угольным электродом составляет 0,5...0,6, при наплавке электродами с качественными покрытиями — 0,6...0,8, при дуговой наплавке под флюсом — 0,8...0,9.

Количество расплавленного электрода, г, определяется по формуле

$$G_э = \alpha_э I_{св} \tau, \qquad (4.2)$$

где $\alpha_э$ — коэффициент расплавления, г/(А · с); τ — длительность горения электрической дуги, с.

Масса наплавленного металла, г, рассчитывается по формуле

$$G_н = \alpha_н I_{св} \tau, \qquad (4.3)$$

где $\alpha_н$ — коэффициент наплавки, г/(А · с).

При наплавке наблюдаются потери электродного металла на угар и разбрызгивание, которые оцениваются в процентах из соотношения

$$\psi = \frac{G_э - G_н}{G_э} 100. \qquad (4.4)$$

Расплавленный металл всегда переносится с электрода на основной металл, а не наоборот, что объясняется воздействием на расплавленный металл электромагнитных сил, направленного движения газов и поверхностного натяжения, а при сварке в нижнем положении — наличием определенной массы расплавленного металла.

Расплавленный металл переносится с электрода в виде капель с частотой от 30 до 60 раз/с.

Расплавление основного металла и перемешивание его с расплавленным электродным металлом происходит в передней части сварочной ванны, а в тыльной ее части, удаленной от источника теплоты, происходит процесс кристаллизации с образованием сварочного шва.

Форма сварочной ванны в значительной мере зависит от сил расширяющихся газов P_0 (рис. 4.2), которые оттесняют жидкий металл к задней части ванны.

На форму сварочной ванны и шва большое влияние оказывают напряжение дуги, скорость наплавки, наклон и диаметр электрода, а также число применяемых электродов.

Воздействие теплоты сварочной дуги на металл в околошовной зоне. Околошовная зона металла находится под воздействием теплоты, выделяемой при сварке. Рассмотрим на примере сварки низкоуглеродистых сталей структурные превращения в зоне термического влияния. На рис. 4.3 показаны схема и характеристика структурных превращений в околошовной зоне.

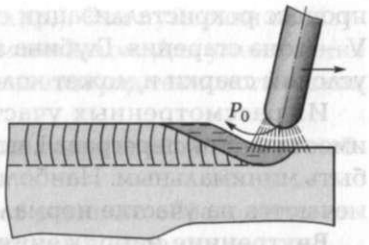


Рис. 4.2. Форма сварочной ванны

Металл шва имеет в основном дендритную (литую) структуру. Участок I — крупнозернистая структура металла с игольчатыми включениями феррита (участок перегрева). В пределах участка II металл претерпел перекристаллизацию (нормализацию) и обладает мелкозернистой структурой. На участке III наблюдается неполная перекристаллизация с неоднородной структурой (мелкие зерна перлита и крупные зерна феррита). В пределах участка IV происходит

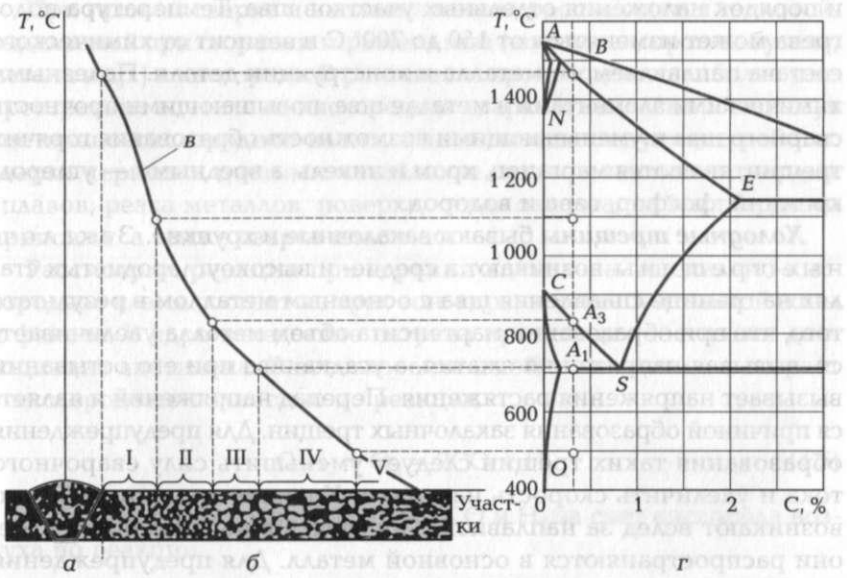


Рис. 4.3. Схема и характеристика структурных превращений в околошовной зоне:

а — шов; *б* — околошовная зона; *в* — кривая изменения температуры в околошовной зоне; *г* — диаграммы состояний системы Fe — C

процесс рекристаллизации с увеличением размера зерен. Участок V — зона старения. Глубина зоны термического влияния зависит от условий сварки и может колебаться в пределах 1,5...3,5 мм.

Из рассмотренных участков самую пониженную прочность имеет участок перегрева I, поэтому при сварке этот участок должен быть минимальным. Наиболее высокие механические свойства отмечаются на участке нормализации II.

Внутренние напряжения и основные дефекты в швах. В процессе сварки или наплавки наблюдаются неравномерные нагрев и охлаждение шва и околошовной зоны, что приводит к появлению в шве (валике) остаточных напряжений растяжения. Трещины могут зародиться как в интервале температур кристаллизации металла (горячие трещины), что для углеродистых сталей соответствует температуре 1 200...1 350 °С, так и при температуре ниже 400 °С (холодные трещины).

Образование ***горячих трещин*** связано с действием растягивающих напряжений, которые вызывают упругопластическую деформацию при затвердевании шва. Для уменьшения влияния сварочных напряжений производится предварительный подогрев основного металла и назначается рациональный режим сварки и порядок наложения отдельных участков шва. Температура подогрева может изменяться от 150 до 700° С и зависит от химического состава наплавляемого металла и конструкции детали. Полезными химическими элементами в металле шва, повышающими прочность сварного шва и уменьшающими возможность образования горячих трещин, являются марганец, хром и никель, а вредными — углерод, кремний, фосфор, сера и водород.

Холодные трещины бывают закалочные и хрупкие. Закалочные трещины возникают в средне- и высокоуглеродистых сталях на границе сплавления шва с основным металлом в результате того, что при образовании мартенсита объем металла увеличивается, вызывая напряжения сжатия, а усадка шва при его остывании вызывает напряжения растяжения. Перепад напряжений и является причиной образования закалочных трещин. Для предупреждения образования таких трещин следует уменьшить силу сварочного тока и увеличить скорость наплавки. Хрупкие трещины обычно возникают вслед за наплавкой. Образуясь в наплавленном слое, они распространяются в основной металл. Для предупреждения возникновения хрупких трещин применяется предварительный подогрев детали и медленное охлаждение после наплавки.

Одним из распространенных дефектов сварки (наплавки) является ***пористость шва***, что объясняется возникновением в жидком

металле пузырьков газов (CO_2, CO, H_2 и др.). Эти пузырьки образуются на грани между твердым и жидким металлом. Для уменьшения вероятности возникновения пор применяется ряд технологических способов:

- замедление процесса кристаллизации сварочной ванны, что облегчает выделение пузырьков газов;
- раскисление ванны, что задерживает реакцию образования оксида углерода (угарного газа) или водяного пара;
- уменьшение содержания в сварочной ванне водорода и азота путем защиты электрической дуги от окружающего воздуха;
- перевод водорода и азота в сварочной ванне в соединения, переходящие в шлак, или удаление их пузырьками нерастворимых газов;
- применение при сварке постоянного тока обратной полярности, что снижает растворение протонов водорода в капле расплава;
- снижение мощности сварочной дуги.

4.1.3. Газовая сварка и наплавка

При газовой сварке и наплавке металл расплавляется теплотой, выделяемой при сгорании горючего газа (ацетилена, пропан-бутана, метана и др.) в кислороде. В ремонтном производстве наиболее распространена ацетилено-кислородная сварка и наплавка. Используя ацетилено-кислородное пламя, выполняются следующие работы: сварка черных и цветных металлов и сплавов, наплавка твердых сплавов, резка металлов, поверхностная закалка, пайка твердыми припоями, а также сварка пластмасс.

Рассмотрим реакции при горении ацетилена. Ацетилено-кислородное пламя состоит из трех зон: ядра, восстановительной зоны и факела. В ядре вследствие нагрева происходит частичная диссоциация ацетилена. В восстановительной зоне ацетилен сгорает в кислороде не полностью по реакции

$$C_2H_2 + O_2 = 2CO + H_2 \qquad (4.5)$$

В факеле происходит догорание CO и H_2 за счет кислорода воздуха по реакции

$$2CO + H_2 + 1{,}5O_2 = 2CO_2 + H_2O \qquad (4.6)$$

Наиболее высокая температура развивается в восстановительной зоне (примерно 3 200 °C).

При газовой сварке и наплавке присадочный и основной металл окисляются и науглероживаются. Выгорают марганец, кремний и другие элементы. Расплавленный металл поглощает газы (кислород и водород), образуя пористость шва. Азот также вступает в химическое соединение с расплавленным металлом, создавая нитриды (Fe_2N, Fe_4N, MnN и SiN), которые повышают хрупкость и твердость наплавленного металла. Для уменьшения влияния кислорода, водорода и азота на качество наплавляемого металла применяются флюсы.

Флюсы бывают химически действующие и действующие как физические растворители. Флюсы первой группы образуют с оксидами металла легкоплавкие химические соединения, всплывающие на поверхность в виде шлака. К этой группе относятся флюсы на основе технической буры. Флюсы второй группы растворяют оксиды металлов и образуют шлаки, легко всплывающие на поверхность расплавленного металла. К этой группе относятся флюсы, имеющие в составе хлорид натрия, хлорид калия и фторид натрия.

Режим газовой сварки и наплавки определяется следующими факторами: способом сварки, видом и мощностью пламени, диаметром присадочного прутка и углом наклона горелки.

Способ сварки бывает правый и левый. Названия эти связаны с направлением перемещения газовой горелки. На рис. 4.4, *а* показан правый способ сварки, а на рис. 4.4, *б* — левый. Правый способ сварки обеспечивает более концентрированный ввод теплоты, поэтому он применяется для сварки деталей толщиной более 4 мм. Левый способ предупреждает прожог металла и целесообразен для сварки деталей толщиной менее 4 мм.

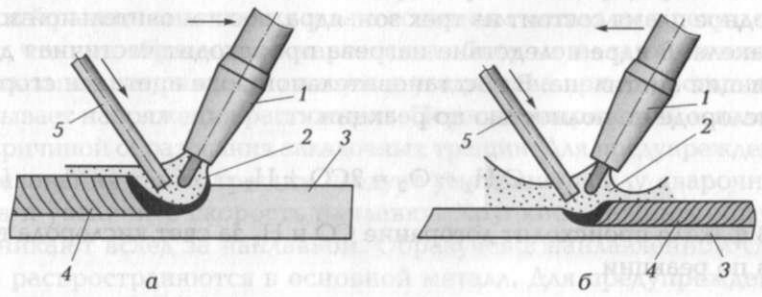


Рис. 4.4. Способы сварки:

а — правый; *б* — левый; *1* — мундштук горелки; *2* — пламя; *3* — свариваемый металл; *4* — шов; *5* — присадочный пруток

2) В зависимости от соотношения расходов кислорода и ацетилена $\frac{O_2}{C_2H_2} = \alpha$ различаются ***три вида газового пламени***: нейтральное ($\alpha = 1 \ldots 1{,}25$), восстановительное ($\alpha < 1$) и окислительное ($\alpha > 1{,}25$). Обычно сварка и наплавка деталей из сталей с содержанием углерода до 0,5 %, цветных металлов и алюминиевых сплавов выполняется нейтральным пламенем.

Пламя с избытком ацетилена применяется при наплавке деталей из твердых сплавов и сварке чугунных деталей, а также деталей из легированных и высокоуглеродистых сталей (содержание углерода более 0,5 %). В таком пламени избыток углерода в восстановительной зоне частично переходит в металл, задерживается выгорание кремния и уменьшается возможность отбеливания чугуна.

Окислительное пламя используется для резки металлов, нагрева деталей при закалке и сварки латунных деталей.

Мощность пламени зависит от номера наконечника горелки и характеризуется расходом ацетилена. Расход ацетилена, дм^3/ч, определяется по формуле

$$A = KS, \qquad (4.7)$$

где K — коэффициент, характеризующий материал свариваемой детали, способ сварки и тип соединения, дм^3/ч на 1 мм толщины детали; S — толщина детали, мм.

Для деталей из стали $K = 100 \ldots 120$ дм^3/(ч · мм), чугуна $K = 110 \ldots 140$ дм^3/(ч · мм) и алюминия $K = 60 \ldots 100$ дм^3/(ч · мм).

В зависимости от расхода ацетилена выбирается номер наконечника сварочной горелки.

Диаметр присадочного прутка выбирается в зависимости от толщины свариваемой детали. При толщине детали 1 ... 2 мм сварка выполняется без присадочного прутка. При толщине детали 2 ... 3 мм используется проволока диаметром 2 мм, при толщине 3 ... 10 мм — 3 ... 4 мм, при толщине 10 ... 15 мм — 4 ... 6 мм, при толщине 15 мм и более — 6 ... 8 мм.

Угол наклона горелки зависит от толщины свариваемой детали. Например, при толщине детали до 1 мм угол наклона горелки к горизонтальной плоскости составляет 10°, при толщине 5 ... 7 мм — 40°, а при толщине 15 мм и более — 80°. С увеличением угла наклона горелки возрастает тепловое воздействие пламени на процесс сварки.

4.2. ПРИСАДОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Присадочные материалы служат для компенсации угара металла и заполнения зазора или канавки между свариваемыми элементами. Они подбираются так, чтобы образующийся при сварке сплав обеспечивал высокое качество шва. Для этого составы материала присадочной проволоки и свариваемого материала должны соответствовать друг другу. В состав материала присадочной проволоки могут вводиться элементы, имеющие меньшее сродство с кислородом, чем основа сплава, если они оказывают благоприятное влияние на свариваемый материал.

Для получения высококачественного шва при выборе присадочной проволоки необходимо учитывать следующие рекомендации:

- в процессе сварки материал проволоки должен увеличивать количество элементов, интенсивно выгорающих при сварке;
- следует в материал проволоки вводить элементы, более активно соединяющиеся с кислородом по сравнению с основой и легирующими компонентами сплава;
- необходимо в материал проволоки вводить элементы, менее активные к кислороду по сравнению с основой сплава и одновременно благоприятно влияющие на свариваемый металл;
- следует в материале проволоки уменьшать количество элементов, оказывающих вредное воздействие на шов.

Присадочные проволоки, применяемые при сварке, имеют 77 марок диаметром 3...12 мм. Некоторые из них приведены в табл. 4.1. Марка проволоки содержит буквы Св (сварочная) и далее через дефис — типовое обозначение использованной для ее изготовления стали, например: Св-08А, Св-08Г2С, Св-30ХГСА и т.д.

Наплавочные проволоки обозначаются символом «Нп». Некоторые присадочные проволоки для наплавки сталей приведены в табл. 4.2.

Кроме тянутых проволок, для сварки и наплавки используются порошковые, представляющие собой стальные трубки, которые заполнены порошкообразной шихтой, состоящей из металлического компонента и флюса. Наиболее широко используются порошковые проволоки диаметром 1,6...1,8 мм. Они предназначены для механизированной сварки и наплавки деталей из стали и чугуна как с дополнительной защитой от кислорода воздуха флюсом или газом, так и без защиты. Порошковые проволоки для сварки и наплавки деталей из сталей принято обозначать символом «ПП» с указанием далее марки материала, например: ПП-3Х13-0 — порошковая про-

Таблица 4.1. Присадочные проволоки для сварки стальных деталей

Марка проволоки	Содержание элементов, мас. %						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
						не более	
Углеродистые стали							
Св-08	0,1	0,35...0,6	0,03	0,15	0,3	0,04	0,04
Св-0ВА	0,1	0,35...0,6	0,03	0,1	0,25	0,03	0,03
Св-08ГА	0,1	0,8...1,1	0,03	0,1	0,25	0,03	0,03
Св-10ГА	0,12	1,1...1,4	0,03	0,2	0,3	0,03	0,03
Св-10Г2	0,12	1,5...1,9	0,03	0,2	0,3	0,04	0,03
Легированные стали							
Св-08ГС	0,1	1,4...1,7	0,6...0,85	0,2	0,25 (Al—0,05)	0,03	0,03
Св-08Г2С	0,11	1,8...2,1	0,7...0,95	0,2	0,25 (Al—0,05)	0,03	0,03
Св-12ГС	0,14	0,8...1,1	0,6...0,9	0,2	0,3	0,03	0,03
Св-10ХГ2С	0,06...0,12	1,7...2,1	0,7...0,95	0,7...1,1	0,25	0,03	0,03
Св-18ХГСА	0,15..0,22	0,8...1,1	0,9...1,2	0,8...0,1	0,3	0,025	0,03
Высоколегированные стали							
Св-06Х14	0,08	0,3...0,7	0,3...0,7	13...15	0,6	0,03	0,03
Св-10Х13	0,08...0,15	0,3...0,7	0,3...0,7	12...14	0,6	0,03	0,03
Св-08Х14ГТ	0,01	0,09...1,3	0,5...0,65	13...14	0,6 (Ti 0,6...1)	0,03	0,035

Таблица 4.2. Присадочные проволоки для наплавки стальных деталей

Марка проволоки	Содержание элементов, мас. %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	S	P
							не более	
Углеродистые стали								
Нп-30	0,27...0,35	0,5...0,8	0,17...0,37	0,25	0,25	—	0,04	0,04
Нп-40	0,37...0,45	0,5...0,8	»	0,25	0,25	—	»	»
Нп-50	0,47...0,55	0,5...0,8	»	0,25	0,25	—	»	»
Нп-65	0,6...0,7	0,5...0,8	»	0,25	0,25	—	»	»
Нп-80	0,75...0,85	0,5...0,8	»	0,25	0,25	—	»	»
Нп-40Г	0,35...0,45	0,7...1,0	»	0,25	0,25	—	»	»
Нп-50Г	0,45...0,55	0,7...1,0	»	0,25	0,25	—	»	»
Нп-65Г	0,6...0,7	0,9...1,2	»	0,25	0,25	—	»	»
Легированные стали								
Нп-30ХГСА	0,27...0,35	0,8...1,1	0,9...1,2	0,8...1,1	0,4	—	0,03	0,04
Нп-30Х3ВА	0,27...0,35	0,3...0,6	0,17...0,37	2,8...3,3	0,5	0,8...1,1	0,03	»
Нп-30Х5	0,27...0,35	0,4...0,7	0,2...0,5	4,0...6,0	0,4	—	0,04	»
Нп-35Х2Г2В	0,3...0,4	2,2...2,7	0,4...0,7	2,2...2,7	0,4	0,8...1,1	0,04	»
Высоколегированные стали								
Нп-2Х14	0,16...0,24	0,6	0,6	13...15	0,6	—	0,03	0,035
Нп-3Х13	0,25...0,34	0,6	0,6	12...14	0,6	—	0,03	0,035
Нп-4Х13	0,35...0,45	0,6	0,6	12...14	0,6	—	0,03	0,035

Примечание. Проволока Нп-30Х3ВА содержит 0,15...0,2 % молибдена.

волока для механизированной наплавки стальных деталей, работающих в условиях трения металла о металл.

Основные марки и назначение порошковых проволок:

- ПП-АН1 — для сварки деталей из низкоуглеродистых сталей;
- ПП-АН3 — для сварки деталей из низкоуглеродистых и низколегированных сталей в нижнем положении;
- ПП-АН7 — для сварки деталей из низкоуглеродистых и низколегированных сталей в любых пространственных положениях;
- ПП-200Х10Г80 — для наплавки деталей, работающих в условиях износа и удара;
- ПП-25Х5ФМС — для наплавки деталей, работающих в условиях циклических термических нагрузок и изнашивания;
- ПП-У20Х12ВФ — для наплавки деталей, работающих в условиях износа и удара.

По составу сердечника порошковые проволоки подразделяются на рутил-органические, карбонатно-флюоритные, флюоритные и рутиловые.

Наиболее часто применяются проволоки марок ПП-АН1, ПП-АН3 и ПП-АН7. В качестве органического компонента в них служит целлюлоза или крахмал. Достоинством порошковых проволок является возможность регулирования в широких пределах химического состава металла шва за счет подбора шихты. В табл. 4.3 приведены характеристики некоторых порошковых проволок для сварки и наплавки стальных деталей.

Для сварки используются также проволоки сплошного сечения, изготовленные из порошков, с покрытиями различного состава.

Существуют порошковые проволоки, предназначенные специально для сварки чугунных деталей. Они обозначаются символом «ППЧ» (табл. 4.4).

Таблица 4.3. Характеристики порошковых проволок для сварки и наплавки стальных деталей

Марка проволоки	Диаметр проволоки, мм	Тип сердечника
ПП-АН1	2,8	Рутил-органический
ПП-АН3	3	Карбонатно-флюоритный
ПП-АН7	2; 2,3	То же
ПП-АНП	2; 2,4	»
ПП-АН	2,5	»
ПП-2ДСК	2,3	Флюоритный

Таблица 4.4. Порошковые проволоки для сварки чугунных деталей

Марка проволоки	Назначение	Содержание элементов, мас. %				
		C	Si	Mn	Ti	Al
ППЧ-1	Для холодной сварки	6,5...7	3,8...4,2	0,4...0,6	0,4...0,6	0,6...0,9
ППЧ-2	Для полугорячей сварки	5,7...6,5	3,3...4	0,4...0,6	0,2...0,5	0,2...0,9
ППЧ-3	Для холодной сварки	4,5...5	3,3...4	—	0,1...0,3	0,1...0,3

Порошки для газовой сварки и наплавки стальных и чугунных деталей приведены в табл. 4.5. Для сварки чугунных деталей электродуговой и газопламенной сваркой используются чугунные прутки, марки и химический состав которых приведены в табл. 4.6.

Для автоматической и полуавтоматической сварки чугунных деталей используется самозащитная проволока сплошного сечения ПАНЧ-11, содержащая (по массе): 5...6 % Mn, 2,3...3 % Cu, 2 % P, 0,2...0,3 % редкоземельных элементов, а стальное — Fe. Присутствие в проволоке редкоземельных элементов позволяет осуществлять сварку без флюса и защитного газа. Разработана также самозащитная проволока ПАНЧ-12, близкая по составу проволоке ПАНЧ-11.

Таблица 4.5. Порошки для газовой сварки и наплавки

Марка порошка	Содержание элементов, мас. %				
	Si	B	Fe	C	Cr
Стальные детали					
ПГ-ХН80СР2	1,5...3	1,5...2,5	5	43,3...0,6	13...15
ПГ-ХН80СР3	2,5...4,5	2...3	5	0,6...0,8	13,5...16,5
ПГ-ХН80СР4	3...5	2,5...4	5	0,6...1	15...18
Чугунные детали					
НПЧ-1	1,3...1,5	1,2...1,5	0,1...0,7	0,1...0,3	—
НПЧ-2	2,4...2,7	2,2...2,7	0,1...1	0,1...0,3	—
НПЧ-3	0,2...0,95	0,7...1,1	0,1...0,7	0,2	—

Примечания: 1. Порошки НПЧ-1 и НПЧ-2 содержат 4...5 %, а НПЧ-3 — 27...60 % меди.

2. Во всех порошках остальное содержание — никель.

Таблица 4.6. Присадочные прутки для сварки чугунных деталей

Марка проволоки	Содержание элементов, мас. %							
	C	Si	Mn	S (не более)	P	Ti	Cr (не более)	Ni (не более)
А	3...3,5	3...3,4	0,5...0,8	0,08	0,2...0,4	—	0,05	0,03
Б	3...3,5	3,5...4	0,5...0,8	0,08	0,3...0,5	—	0,05	0,04
НЧ-1	3...3,5	3...3,4	0,5...0,8	0,05	0,2...0,4	0,03...0,06	0,05	0,06
НЧ-2	3...3,5	3,5...4	0,5...0,8	0,05	0,2...0,4	0,03...0,06	0,05	0,06

Таблица 4.7. Присадочные проволоки для сварки деталей из алюминиевых сплавов

Марка проволоки	Содержание элементов, мас. %					
	Al	Mg	Mn	P	Si	Ti
СвА97	99,97	—	—	—	—	—
СвА85Т	Остальное	—	—	—	—	0,2...0,5
СвА5	Остальное	—	—	0,2...0,35	0,10...0,25	—
СвАМц	Остальное	—	1,0...1,5	0,3...0,5	0,2...0,4	—
СвАМг3	Остальное	3,2...3,8	0,3...0,6	—	0,5...0,8	—
СвАК5	Остальное	—	—	—	4,5...6	0,1...0,2
СвАК10	Остальное	—	—	—	7...10	—

Для сварки деталей из низкоуглеродистых сталей без защиты могут быть использованы проволоки Св-15СТЮЦА и Св-20ХГСТЮ. Механические свойства металла шва, выполненного этими проволоками, находятся на уровне механических свойств швов, полученных электродами типа Э50.

Существуют присадочные материалы, предназначенные для деталей из алюминиевых сплавов, обеспечивающие необходимое качество сварного соединения (табл. 4.7).

4.3. РАЗНОВИДНОСТИ СВАРОЧНО-НАПЛАВОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПО СТЕПЕНИ ИХ МЕХАНИЗАЦИИ

4.3.1. Ручные способы сварки и наплавки

Сварочно-наплавочные процессы подразделяются на ручные и механизированные. Ручные способы сварки и наплавки выполняются сварщиком без использования каких-либо механизмов в отличие от механизированной, где предусмотрено применение различных механизмов, облегчающих и ускоряющих выполнение операций.

Ручные способы используются при сварке швов незначительной длины и при наплавке небольших поверхностей, т. е. когда применение механизированных способов неэффективно.

Дуговая сварка и наплавка стальных деталей. При дуговой сварке используется постоянный и переменный ток.

При сварке постоянным током электрическая дуга горит более устойчиво, чем при сварке переменным током, причем на положительном полюсе выделяется теплоты больше, чем на отрицательном (температура соответственно 4 200 и 3 500 °С). В связи с этим для деталей из среднеуглеродистых и высокоуглеродистых сталей во избежание образования в результате перегрева закалочных трещин сварка ведется при подключении деталей к отрицательному полюсу, т. е. на *обратной полярности*. На обратной полярности выполняется также сварка деталей небольшой толщины, что позволяет избежать прожога. При требовании повышенной глубины проплавления деталей сварка ведется на прямой полярности, т. е. детали подключаются к положительному полюсу.

При сварке переменным током выделяется примерно одинаковое количество теплоты на электроде и деталях. На переменном токе свариваются детали из низкоуглеродистых и низколегирован-

ных сталей, так как они малочувствительны к перегреву и хорошо свариваются.

На качество сварки и наплавки деталей большое влияние оказывает ***правильный выбор электрода и режима работы***. Для сварки конструкционных деталей из низкоуглеродистых и низколегированных сталей 15Х и 20Х применяются электроды марок Э34, Э38, Э42, Э42А и Э46, а для наплавки поверхностей — электроды марок ЭН-18Г4-35, ЭН-20Г4-40 и др. Для сварочных работ в качестве стержней электродов обычно используются низкоуглеродистые проволоки марок Св-08, Св-08ГА и др.

Электроды различаются с тонкими (толщина слоя 0,15...0,3 мм) и толстыми (толщина слоя составляет 0,25...0,35 диаметра электрода) покрытиями.

Тонкие покрытия электродов, состоящие из смеси 80...85 % мела и 15...20 % стекла, способствуют устойчивому горению электрической дуги. Электроды с тонкими покрытиями применяют для сварки малоответственных деталей.

Толстые покрытия электродов позволяют получить наплавленный металл с высокими механическими свойствами. Такие покрытия являются защитно-легирующими. В их состав входят следующие компоненты: газообразующие (крахмал, древесная мука и др.), защищающие расплав металла от воздействия воздуха, шлакообразующие (кварцевый песок, полевой шпат и др.), раскисляющие (ферромарганец, ферросилиций и др.), легирующие (феррохром, ферромарганец и др.) и связующие (жидкое стекло).

Электроды с толстыми покрытиями применяются для сварки и наплавки ответственных стальных деталей. Наиболее распространены электроды марок УОНИ-13/45; УОНИ-13/55 и др. Основное покрытие этих электродов имеет фтористо-кальциевый состав: мрамор — 53...54 %, плавиковый шпат — 15...18 %, кварцевый песок — 9 %, ферромарганец — 2...5 %, ферросилиций — 3...5 %, ферротитан — 12...15 %, а также к сумме компонентов добавляется 10...15 % жидкого стекла. Электроды марки УОНИ-13 выпускаются диаметром 2...5 мм с толщиной покрытия 0,6...1,2 мм в зависимости от диаметра. Наплавка выполняется постоянным током обратной полярности.

Диаметр электрода (2...6 мм) зависит от толщины восстанавливаемой детали, типа шва и его положения в пространстве. При вертикальном и потолочном швах диаметр электрода не должен быть более 4 мм.

Необходимая сила сварочного тока, А, определяется по формуле

$$I = (\beta + \alpha d_э)d_э, \quad (4.8)$$

где $d_э$ — диаметр электрода, мм; α и β — опытные коэффициенты, равные при ручной сварке $\alpha = 6$, $\beta = 20$.

На качество сварного шва значительное влияние оказывает длина дуги. Она обычно составляет 0,5...1,2 диаметра электрода и зависит от условий сварки и марки электрода. При чрезмерно длинной дуге в сварочном шве увеличивается содержание азота и кислорода, а также разбрызгивание металла. При короткой дуге плохо формируется сварочный шов.

Для получения при наплавке износостойкого покрытия на деталях из низкоуглеродистой, среднеуглеродистой и низколегированной сталей применяются электроды марок ОЗН-300, ОЗН-350 и ОЗН-400. Эти электроды имеют стержень из легированной проволоки (соответственно марок ЭН-15Г3-25, ЭН-18Г4-35 и ЭН-20Г4-40) и фтористо-кальциевое покрытие. При диаметре электрода 4 мм сила тока составляет 170...220 А, а при диаметре 5 мм — 210...240 А.

Хорошая износостойкость деталей, работающих с безударной нагрузкой, обеспечивается наплавкой электродом марки Т-590, а деталей, работающих с умеренно ударной нагрузкой, — электродом марки Т-620. Эти электроды изготавливаются из сварочной проволоки марки Св-08А с обмазкой, имеющей в своем составе легирующие элементы. Наплавленный электродами слой представляет собой железоуглеродистый сплав, легированный хромом, бором, кремнием, марганцем и титаном.

Учитывая повышенную хрупкость слоев, наплавленных электродами марок Т-590 и Т-620, и склонность к образованию трещин, эти электроды используются для наплавки верхних слоев деталей, подвергающихся абразивному изнашиванию. При диаметре электрода 4 мм сила тока составляет 200...220 А, а при диаметре 5 мм — 250...270 А.

Основная продолжительность ручной дуговой сварки, мин, рассчитывается по формуле

$$t_о = 60Fl\gamma/(K_н I), \quad (4.9)$$

где F — площадь поперечного сечения шва, см^2; l — длина шва, см; γ — плотность наплавленного металла, г/см^3; $K_н$ — коэффициент наплавки, г/(А·ч).

При дуговой сварке и наплавке стальных деталей для уменьшения внутренних напряжений и деформаций наиболее эффективным способом является предварительный подогрев деталей до 200...300 °С, а после наплавки — отпуск малогабаритных деталей

при температуре 630...650 °С с последующим медленным охлаждением.

Газовая сварка и наплавка стальных деталей. При газовой сварке и наплавке в качестве горючего используется в основном ацетилен. Газовая сварка применяется главным образом для соединения листов толщиной менее 2 мм (баки, тонкостенные трубы и др.), так как газовое пламя не прожигает тонкие листы. По производительности газовая сварка в 3—5 раз ниже дуговой и дает значительные остаточные деформации. Материал присадочного прутка выбирается однородным по составу с основным металлом. Перед сваркой шов прогревается горелкой до температуры 650...700 °С.

Основная продолжительность, мин, ацетилено-кислородной сварки определяется по формуле

$$t_o = F h \gamma / K_н. \qquad (4.10)$$

Коэффициент наплавки $K_н$ зависит от мощности горелки и состава свариваемого металла.

Наплавка деталей твердыми сплавами. В ремонтном деле применяется наплавка твердыми сплавами (стеллит и сормайт) и зернообразными твердыми сплавами (сталинит и вокар).

Стеллит — твердый сплав на кобальтовой или никелевой основе. Сормайт — группа литых высокоуглеродистых и высокохлористых железистых сплавов, содержащих также Ni и Si и отличающихся большой твердостью. Зернообразные наплавочные сплавы (сталинит и вокар) представляют собой смесь металлов (Mn, W, Cr, Fe и др.) с углеродосодержащими веществами (нефтяной кокс, сахар и патока).

Из группы твердых сплавов наиболее распространены сормайты и сталинит (табл. 4.8). Сормайты применяются в виде стержневых электродов диаметром 5...7 мм двух марок: № 1 (ЦС-1) и № 2 (ЦС-2).

Сормайты можно наплавлять газовым пламенем или дуговой наплавкой постоянным и переменным током. При наплавке постоянным током применяется обратная полярность. Для газовой наплавки используется флюс (прокаленная бура 50 %, двууглекислая сода 47 % и кремнезем 3 %).

Сормайт-1 отличается меньшей вязкостью и прочностью, после наплавки имеет твердость 48...52 HRC и последующей термообработке не подлежит. Сормайт-2 после наплавки и отжига хорошо обрабатывается резанием, а после закалки и отпуска приобретает твердость 58...62 HRC. Сормайт-1 может быть применен для восстановления деталей, работающих при спокойной нагрузке,

Таблица 4.8. Группы твердых сплавов

Марка твердого сплава	Содержание элементов, %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	Co	Fe
Сормайт-1 (ЦС-1)	2,5...3,3	Не более 1,5	2,8...4,2	25...31	3...4	—	—	Остальное
Сормайт-2 (ЦС-2)	1,5...2	Не более 1,5	1,5...2,2	13,5...17,5	1,5...2,5	—	—	»
Сталинит	8...10	13...17	3	16...20	—	—	—	»
Вокар	9...10	—	0...3	—	—	85...87	—	2

а сормайт-2 — для деталей, работающих при ударных нагрузках. Толщина наплавленного слоя с учетом припуска на последующую механическую обработку может быть 2,5...4 мм.

Наплавка сталинитом выполняется четырьмя способами.

1. Шихта сталинита наплавляется угольным или графитовым электродом на постоянном или переменном токе. После очистки и обезжиривания на поверхность детали насыпается тонкий (толщиной 0,2...0,3 мм) слой флюса (буры), а затем шихта сталинита слоем толщиной 3...5 мм. На рис. 4.5 показана схема наплавки. Твердость наплавленного сталинитом слоя достигает 53 HRC. Большое содержание углерода в нем способствует образованию неглубоких трещин и пор. Применяя смесь сталинита с карбидом бора (до 3 %), получается наплавленный слой с более высокой твердостью.

2. Шихта сталинита наплавляется стальным электродом. Наплавленный слой получается более вязким, но менее износостойким.

3. Сталинит вводится в состав обмазки стальных электродов.

4. Сталинит вводится в состав шихты специальных пустотелых электродов (трубчатых, ленточных и др.).

Устранение дефектов в деталях из чугуна. При ремонте чугунных деталей применяются дуговая и газовая сварка и наплавка, а также газопорошковая наплавка и пайка. Выбор способа восста-

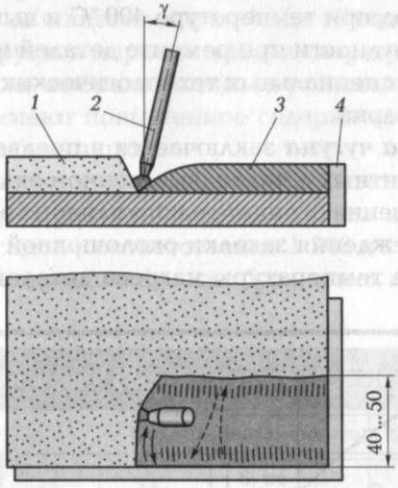


Рис. 4.5. Схема наплавки:

1 — шихта сталинита; *2* — угольный электрод; *3* — наплавленный слой; *4* — приставные пластины, ограничивающие размещение шихты; γ — угол отколонения электрода от вертикального положения (γ = 15...20°)

новления зависит от их конфигурации, расположения в них дефекта, характера нагрузки, воспринимаемой деталями, и требований к обрабатываемости восстановленного участка.

У деталей из чугуна сваркой заделываются трещины и отверстия, присоединяются отколотые части и наплавляются износостойкие покрытия.

Ремонт чугунных деталей представляет некоторые трудности, так как чугун имеет значительное содержание углерода, низкую вязкость и свободный углерод в структуре. При быстром охлаждении чугуна возможно образование в околошовной зоне твердых закалочных структур. При расплавлении чугуна может произойти местный переход графита в цементит, в результате этого в данном месте металл получит структуру белого чугуна. В закаленных и отбеленных зонах металл тверд и хрупок. Разница в коэффициентах линейного расширения серого и белого чугуна приводит к образованию внутренних напряжений и появлению трещин. Кроме того, вследствие выгорания углерода и кремния сварной шов получается пористым и загрязненным шлаковыми включениями, так как быстрый переход чугуна из жидкого состояния в твердое не позволяет образовавшимся газам и шлакам полностью выделиться из металла.

Следует также иметь в виду возможность плохого сплавления присадочного металла с основным в связи с насыщенностью чугуна газами. Такой чугун может быть в деталях, работавших в машине длительный период при температуре 400 °С и выше.

Отмеченные трудности при ремонте деталей из чугуна привели к разработке двух специальных технологических приемов — горячей и холодной сварки.

Горячая сварка чугуна заключается в предварительном подогреве крупногабаритных деталей и медленном охлаждении их после сварки для уменьшения отрицательного влияния внутренних напряжений и предупреждения закалки околошовной зоны. На рис. 4.6 показано влияние температуры нагрева деталей на уменьшение

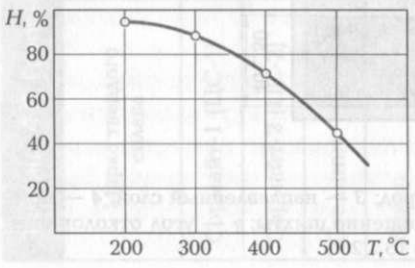


Рис. 4.6. Влияние температуры нагрева детали на уменьшение внутренних напряжений

внутренних напряжений (ось ординат — степень напряженности, ось абсцисс — температура нагрева деталей).

При горячей сварке детали предварительно медленно нагреваются в печи до температуры 550...600 °С. Рекомендуется двухстадийный нагрев. Например, блоки и головки цилиндров двигателей нагреваются до 400 °С в течение 1 ч и от 400 до 650 °С в течение 30 мин. Чтобы в процессе заварки детали не охлаждались ниже 500 °С, после нагрева они накрываются теплоизоляционным кожухом, а заварка дефектного места ведется через окно в этом кожухе. По окончании заварки детали вновь помещаются в печь, нагреваются до температуры 600...650 °С для снятия внутренних напряжений, а затем медленно охлаждаются вместе с печью.

При горячей сварке чаще используется ацетилено-кислородное пламя и реже — дуговая сварка.

Газовая сварка обеспечивает лучшее качество вследствие меньшего выгорания углерода. При газовой сварке следует пользоваться нейтральным пламенем. Расплавление металла ведется восстановительной зоной пламени. В качестве присадочного материала применяются чугунные прутки марок А и Б диаметром 6...8 мм, химический состав которых приведен в табл. 4.9.

Прутки марки А предназначены для горячей сварки чугунных деталей, а марки Б — для сварки с местным подогревом тонкостенных деталей. Номер наконечника горелки принимается из расчета расхода 100...120 л/ч ацетилена на 1 мм толщины свариваемого металла. Кроме прутков марок А и Б для сварки чугунных деталей применяются также выбракованные поршневые кольца из серого чугуна, которые имеют повышенное содержание кремния, уменьшающего отбеливание чугуна.

При газовой сварке чугунных деталей обязательно применение флюса, так как температура плавления чугуна ниже температуры плавления его оксидов (соответственно 1 200 и 1 400 °С). Наиболее распространены следующие флюсы: бура; смесь из 50 % буры и 50 %

Таблица 4.9. Химический состав прутков

Марка чугунного прутка	Содержание элементов, %						
	C	Si	Mn	S, не более	P	Cr, не более	Ni, не более
А	3...3,5	3...3,4	0,5...0,8	0,08	0,2...0,4	0,05	0,03
Б	3...3,5	3,5...4	0,5...0,8	0,08	0,3...0,5	0,05	0,04

двууглекислого натрия; смесь из 56 % буры, 22 % углекислого натрия и 22 % углекислого калия.

Дуговая сварка чугуна применяется для ремонта неответственных деталей, имеющих сравнительно толстые стенки. При этом используются электроды марки ОМЧ-1, представляющие собой прутки марки Б со специальным покрытием (мел, полевой шпат, графит, ферромарганец, жидкое стекло и др.).

Горячая сварка деталей из чугуна обеспечивает высокие качества сварного соединения, однако по техническим и экономическим соображениям применяется сравнительно редко и в основном при сварке сложных корпусных деталей. Более распространена в практике ремонтного производства холодная сварка.

Холодная сварка чугунных деталей ведется без предварительного их подогрева, поэтому сварной шов охлаждается быстро. Это приводит к отбелу чугуна в зоне шва и возникновению в зоне сварки больших внутренних напряжений и даже трещин. Для уменьшения влияния этих факторов применяется ряд специальных способов сварки. К ним относятся сварка наложением отжигающих валиков обычными электродами из низкоуглеродистой стали и сварка с помощью специальных электродов.

Сварка наложением отжигающих валиков заключается в следующем. Сначала накладывается сварной валик длиной 35...50 мм электродом марки Э34, а затем сразу накладывается второй валик. При этом первый валик больше прогревается и потом остывает с меньшей скоростью, поэтому часть цементита распадается, выделяется графит, а закаленная часть шва частично подвергается нормализации. Кроме того, верхний валик менее подвержен закалке, в результате чего уменьшается твердость всего шва и частично снимаются остаточные напряжения. В зависимости от толщины стенки деталей возможно наложение различного числа валиков (рис. 4.7). При толщине стенки деталей более 15 мм применяется многослойная наплавка.

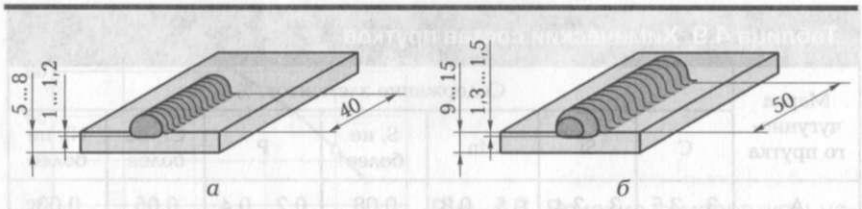


Рис. 4.7. Наложение различного числа валиков:
а — в два слоя; *б* — в три слоя

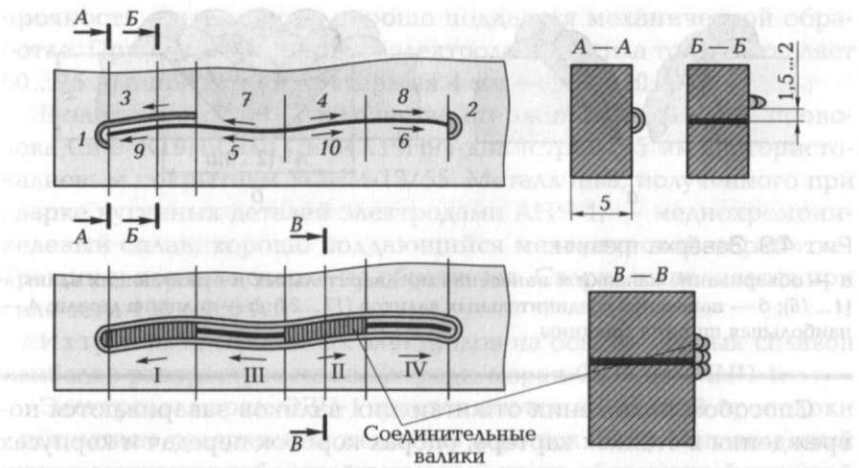


Рис. 4.8. Наварка трещины валиками

Рассмотрим заделку трещины наложением отжигающих валиков в тонкостенной чугунной детали (толщина стенки 6...7 мм). При толщине стенки до 7 мм фаски вдоль трещины не снимаются, и заделка трещины выполняется в такой последовательности:

- отступая на 8...10 мм от концов трещины, навариваются соединительные валики (рис. 4.8);
- вдоль трещины, отступая от нее примерно на 2 мм, навариваются с двух сторон подготовительные и отжигающие валики (сечение *Б—Б*) участками длиной не более 50 мм и в последовательности, показанной на рисунке. При наложении валиков каждый участок проковывается ударами молотка, а шов охлаждается до 50...60 °С;
- накладывается соединительный валик в последовательности I—IV (сечение *В—В*).

Трещина в чугунной детали с толщиной стенки 8 мм и более заваривается в следующем порядке (рис. 4.9):

- засверливаются отверстия на концах трещины;
- разделывается трещина путем снятия фасок так, чтобы ширина канавки составляла 2...3 толщины стенки детали;
- обваривается одна сторона канавки (валики *1...4*), и наносятся на этой стороне отжигающие валики (*5...8*);
- наносятся предварительные (*9...12*) и отжигающие (*13...16*) валики на другой стороне канавки;
- наносятся соединительные валики (*17...24*).

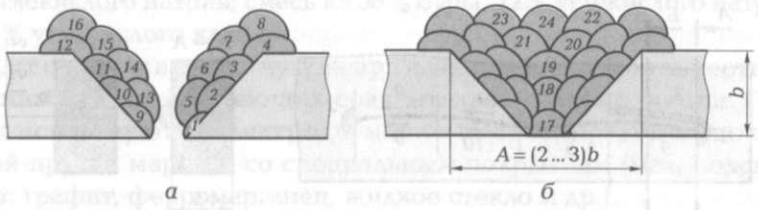


Рис. 4.9. Заварка трещин :

а — обваривание канавки и нанесение предварительных и отжигающих валиков (*1 ... 16*); *б* — нанесение соединительных валиков (*17 ... 24*): *b* — толщина детали; *А* — наибольшая ширина трещины

Способом наложения отжигающих валиков завариваются повреждения в стенках картера, опорах коробок передач и корпусах задних мостов; повреждения постелей под вкладыши и крышки коренных подшипников блоков двигателей; повреждения на стенках водяной рубашки и на других деталях.

При ремонте чугунных деталей с толстыми стенками (более 15 мм) в целях увеличения прочности сварного соединения применяются различного вида усиливающие шов элементы. Например, на рис. 4.10 показано усиление шва с помощью штифтов в сочетании со стальными анкерами. Штифты из низкоуглеродистой стали фиксируются в толще стенок деталей резьбовым соединением. Заварка осуществляется в два этапа: предварительная обварка усиливающих элементов с перерывами для охлаждения, а затем полная заварка отжигающими валиками.

Сварка деталей из чугуна способом наложения отжигающих валиков доступна ремонтным предприятиям. Недостатком этого способа является повышенный расход электродов (примерно в 2 раза) и пониженная производительность.

Холодная сварка чугунных деталей может также выполняться специальными стальными электродами и электродами из цветных металлов и сплавов. Из группы специальных стальных электродов рекомендуется применять электроды марок ЦЧ-4 и АНЧ-1.

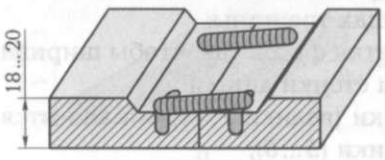


Рис. 4.10. Усиление шва с помощью штифтов в сочетании со стальными анкерами

Электроды марки ЦЧ-4 изготовляются из никелесодержащей проволоки Св-08Н50 с толстым покрытием, содержащим титан. Шов при такой сварке имеет высокую

прочность соединения и хорошо поддается механической обработке. При диаметре стержня электрода 3 мм сила тока составляет 60...75 А, а при диаметре стержня 4 мм — 90...110 А.

В электродах АНЧ-1 в качестве стержня используется проволока Св-04Х19Н9 или Св-04Х19Н9Т диаметром 3,5 мм с фтористо-калиевым покрытием УОНИ-13/55. Металл шва, полученного при сварке чугунных деталей электродами АНЧ-1, — меднохромоникелевый сплав, хорошо поддающийся механической обработке. Трещин и пор при сварке не образуется. Сварка выполняется при силе тока 100...200 А.

Из группы специальных электродов на основе медных сплавов наиболее распространены электроды марок ОЗЧ-1 и МНЧ-1.

Электроды марки ОЗЧ-1 изготовляются из медной проволоки с покрытием, содержащим железный порошок (50 %). Наплавленный шов представляет собой железомедный сплав, обладающий хорошей вязкостью. Однако в околошовной зоне образуются участки отбеленного чугуна, трудно поддающиеся механической обработке.

Лучшие результаты дает сварка электродами марки МНЧ-1, материалом стержня которых является монель-металл (63 % Ni и 37 % Cu). Электроды марки МНЧ-1 имеют покрытие типа УОНИ-13/55. Металл шва, полученного при сварке чугунных деталей этими электродами, — железоникелевый сплав невысокой твердости (около 160 НВ). Шов пластичный, плотный.

Сварка чугунных деталей электродами из цветных металлов менее экономична, но обеспечивает получение пластичного шва, достаточно прочного и хорошо поддающегося механической обработке.

Наплавка деталей специальными электродами ведется на постоянном токе обратной полярности.

Газопорошковая наплавка чугуна заключается в том, что на нагретую поверхность напыляется тонкий слой порошкообразного сплава. В результате диффузионных процессов между расплавленным порошком и поверхностью основного металла образуется наплавленный слой. Для наплавки чугунных деталей применяются порошки марки НПЧ, имеющие следующий состав: медь — 5...7 %, бор — 1...1,8 %, кремний — 0,7...0,95 % и никель — остальное. Наплавка осуществляется специальной ацетилено-кислородной горелкой модели ГАЛ-2-68. Порошок поступает через воронку, закрепленную на стволе горелки. Слой порошкообразного сплава можно нанести толщиной до 3 мм.

Сварка деталей из алюминия и его сплавов. Сварка и наплавка деталей из алюминия и его сплавов затруднена по следующим причинам:

- при сварке образуются тугоплавкие пленки оксидов алюминия Al_2O_3 с температурой плавления 2 050 °С, в то время как температура плавления алюминия 660 °С;
- алюминий и его сплавы в расплаве весьма текучи, а при остывании имеют большой коэффициент усадки и коэффициент линейного расширения;
- при температуре 400...500 °С алюминиевые сплавы приобретают повышенную хрупкость, что способствует образованию трещин при сварке;
- алюминиевые сплавы обладают значительной растворимостью в расплавленном металле водорода, что способствует образованию пористого шва.

Детали из алюминиевых сплавов соединяются газовой или дуговой сваркой.

При газовой сварке в качестве горючего используется ацетилен. Сварка выполняется нейтральным пламенем. Присадочный материал должен быть того же состава, что и основной металл. Для защиты металла от окисления применяется флюс АФ-4А, способствующий удалению оксидов. В состав флюса входят: хлорид натрия — 28 %, хлорид калия — 50 %, хлорид лития — 14 % и фторид натрия — 8 %.

При дуговой сварке обычно используются электроды ОЗА-2. Сварка ведется на постоянном токе при обратной полярности. Стержень электрода изготовляется из алюминиевой проволоки. Электрод имеет покрытие толщиной 0,6...0,8 мм следующего состава: флюс АФ-4А — 65 %; криолит — 25 %; хлорид калия — 9 %; губчатый титан — 1 % и связующий раствор карбоксиметилцеллюлозы — 12...14 % (добавляется к сумме компонентов). Режим дуговой сварки дателей из алюминия: при толщине стенки детали 4...9 мм диаметр электрода берется 5 мм, длина дуги принимается 4...5 мм; при толщине стенки детали 4...6 мм сила тока составляет 140...170 А, а при толщине стенки 7...9 мм сила тока — 160...210 А.

Другой способ дуговой сварки деталей из алюминия и его сплавов — сварка неплавящимся вольфрамовым электродом в среде защитного газа (аргона) на установках типа УДАР и УДГ. В этом случае присадочным материалом является проволока того же состава, что и основной металл. Сварка этим способом ведется на переменном токе без применения флюса, так как аргон хорошо защищает расплав алюминия от окисления. Шов получается прочным, без пор и оксидов.

При всех способах соединения детали перед сваркой необходимо подвергнуть местному или общему нагреву до температуры 200...250 °С, что предотвращает коробление деталей и образование

трещин, а также улучшает кристаллизацию расплавленного металла. После сварки детали подвергаются термообработке при температуре 300...350 °С с последующим медленным охлаждением, что обеспечивает снятие внутренних напряжений в зоне сварки.

4.3.2. Механизированные способы сварки и наплавки

Применение механизированных способов сварки и наплавки способствует улучшению качества ремонтируемых деталей, резкому повышению производительности труда и снижению себестоимости ремонта.

Различают сварку и наплавку с автоматическим и полуавтоматическим циклами.

При автоматической сварке или наплавке механизированы все операции относительного перемещения электрода и детали, а также возбуждения и поддержания электрической дуги.

При полуавтоматической сварке и наплавке механизирована только подача электрода.

На ремонтных предприятиях получили широкое распространение сварка и наплавка под слоем флюса, вибродуговая наплавка, сварка и наплавка в среде углекислого газа, сварка и наплавка порошковой проволокой, электроконтактная наплавка и др.

Сварка и наплавка деталей под слоем флюса. Данный способ разработан в Институте электросварки АН УССР под руководством Е. О. Патона в 1940 г. Сварка и наплавка под слоем флюса может быть автоматической и полуавтоматической.

Автоматическая сварка и наплавка под слоем флюса заключается в следующем. Электродная проволока *6* (рис. 4.11) через мундштук *5* непрерывно подается специальным роликовым устройством в зону наплавки, а из бункера *4* поступает слоем толщиной 30...50 мм гранулированный флюс. Наплавляемая цилиндрическая деталь *1* вращается по часовой стрелке, а наплавочная головка вместе с электродом перемещается вдоль оси детали, обеспечивая наплавку шва по винтовой линии. Дуга *7* горит под жидким слоем (оболочкой) *2* расплавленного флюса в газовом пространстве *3*, образуемом при непрерывном горении дуги.

Оболочка расплавленного флюса предохраняет расплавленный металл от вредного действия кислорода и азота воздуха, уменьшает разбрызгивание расплава металла и улучшает качество формирования наплавляемого шва *9*.

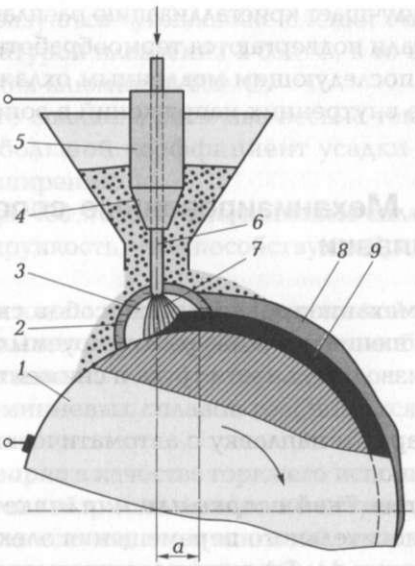


Рис. 4.11. Автоматическая сварка и наплавка под слоем флюса:

1 — деталь; *2* — жидкий слой (оболочка); *3* — газовое пространство; *4* — бункер; *5* — мундштук; *6* — электродная проволока; *7* — дуга; *8* — шлаковая корка; *9* — наплавляемый шов; *a* — участок наплавления проволоки

При остывании расплава флюса образуется шлаковая корка *8*, которая замедляет охлаждение наплавленного шва, улучшая условия его кристаллизации.

При наплавке цилиндрических деталей для предотвращения стекания расплавленного металла электрод смещают от оси вращения вала на размер *a* в сторону, противоположную направлению вращения. Наплавляемые тела вращения должны иметь диаметр не менее 40 мм, предпочтительно более 60 мм. После наплавки затвердевшая шлаковая корка удаляется металлической щеткой.

Наплавка производится на постоянном токе при обратной полярности с использованием сварочного генератора и очень редко на переменном токе, так как колебания напряжения в сети влияют на качество наплавленного слоя. Для наплавки применяются наплавочные головки различных конструкций, например А-580М, ПАУ-1, А-482 и др. Наплавка тел вращения осуществляется на токарном станке с редуктором, уменьшающим частоту вращения шпинделя до 0,25...4 мин$^{-1}$. Наплавочная головка размещается на суппорте станка. Сочетание вращения детали и продольного перемещения суппорта обеспечивает наплавку слоя по винтовой линии.

В качестве электродов используется проволока диаметром 1... 2,5 мм. При наплавке деталей из стали марки 20 хорошие результаты дает проволока из низкоуглеродистой стали марок Св-08, Св-08А и Нп-30, а при наплавке деталей из стали 35 и 45 — среднеуглеродистая проволока марок Нп-40 и Нп-50 (твердость наплавленного металла 187...192 НВ). Детали из сталей марок 30Х, 35Х и 40Х наплавляются с помощью электродной проволоки марок Нп-30ХГСА, Нп-2Х24, Нп-3Х13 и др.

При сварке и наплавке применяются плавленые и керамические (неплавленые) флюсы.

Плавленые флюсы по химическому составу подразделяются на два вида: высококремнистые марганцовистые марок АН-348А, ОСЦ-45 и АН-60, а также низкокремнистые безмарганцовистые марок АН-20 и АН-30. Плавленые флюсы обеспечивают устойчивое горение электрической дуги и хорошее формирование сварочных валиков, обладают высокими защитными свойствами, но не содержат легирующих элементов.

Керамические флюсы представляют собой механическую смесь зернистой массы шлакообразующих и раскисляющих материалов, порошков металлов и ферросплавов (феррохром, ферротитан и др.), легирующих наплавляемый металл. Эти порошки соединяются жидким стеклом, измельчаются и прокаливаются в течение 2...3 ч при температуре 300...400 °С. Наиболее распространены керамические флюсы марок АНК-18, АНК-19 и ЖСН.

В целях получения наплавленного слоя требуемых свойств применяются следующие способы легирования: через электродную проволоку, через порошковую проволоку, через флюс и комбинированный способ.

При легировании через электродную проволоку используется высокоуглеродистая или легированная проволока, а наплавка ведется плавленым флюсом. Например, при наплавке детали проволокой марки Нп-65 под флюсом марки АН-348А наплавленный слой имеет твердость 280...300 НВ, а при наплавке проволокой марки Нп-30ХГСА под флюсом марки АН-20 — 310...320 НВ. Этот способ легирования широко распространен.

При легировании через порошковую проволоку наплавка ведется с флюсами марок АН-348А и АН-20. Порошковая проволока представляет собой свернутую из стальной ленты трубку диаметром 2...3 мм, внутренняя полость которой заполняется механической смесью порошков железа, ферросплавов, графита и других компонентов. Недостатки этого способа — значительная

стоимость проволоки и получение наплавленного слоя с неравномерной структурой.

При легировании через флюс применяется низкоуглеродистая проволока марки Св-08 при наплавке под слоем легированного керамического флюса. Этот способ не получил широкого распространения из-за образования пористого шва.

Комбинированный способ легирования широко распространен и заключается в легировании металла одновременно через проволоку и флюс.

Режим наплавки под слоем флюса оказывает большое влияние на производительность процесса и качество наплавленного металла. К параметрам такого режима наплавки относятся диаметр электродной проволоки, сила сварочного тока, напряжение дуги, скорость подачи проволоки, скорость наплавки, вылет электрода, смещение электрода и шаг наплавки.

Диаметр электродной проволоки зависит от требуемой толщины наплавляемого слоя. Обычно электродная проволока имеет диаметр 1,6...2,5 мм.

Сила сварочного тока влияет на глубину проплавления основного металла, размеры валика и производительность процесса. Силу сварочного тока, А, можно определить по формуле

$$I = 110d_э + 10d_э^2, \qquad (4.11)$$

где $d_э$ — диаметр электрода, мм.

Напряжение при сварке и наплавке под слоем флюса принимается 25...30 В, что способствует хорошему формированию сварочного валика.

Скорость подачи проволоки зависит от диаметра электрода и силы тока и колеблется в пределах 75...180 м/ч.

Скорость наплавки находится в пределах 12...45 м/ч. Ее увеличение приводит к уменьшению глубины проплавления и ширины наплавленного валика.

Вылет электрода колеблется в пределах 10...25 мм и зависит от силы тока.

Смещение электрода от зенита зависит от диаметра детали. Для деталей диаметром 50...150 мм оно составляет 3...8 мм.

Шаг наплавки принимается из расчета перекрытия валиков на $^1/_3$ их ширины. Обычно шаг наплавки составляет 3...6 мм.

Преимущества автоматической наплавки под слоем флюса по сравнению с ручной:

- возможность автоматического управления процессом;

- высокая производительность процесса благодаря применению более высоких плотностей тока и увеличению коэффициента наплавки;
- получение высококачественного покрытия вследствие хорошей защиты дуги от окружающей среды и устойчивости процесса в связи с его автоматизацией;
- возможность получения наплавленного слоя большой толщины (более 5 мм);
- экономичность процесса в связи с резким уменьшением потерь электродного металла и отсутствием потерь электроэнергии на излучение теплоты и света;
- возможность получения наплавленного металла с высокими физико-механическими свойствами в результате его легирования;
- облегчение условий работы сварщика.

Недостатки наплавки под слоем флюса:

- трудность наплавки цилиндрических деталей диаметром менее 45 мм, так как расплавленный флюс и шлак стекают с наплавленного слоя, не успев затвердеть;
- относительно высокая стоимость применяемых флюсов.

Полуавтоматическая сварка и наплавка под слоем флюса применяется при восстановлении деталей сложной конфигурации и при небольших объемах наплавочных работ. На рис. 4.12 показана конструктивная схема головки для полуавтоматической наплавки. Головку сварщик удерживает за держатель *4* и при наплавке перемещает ее вручную, а электродная проволока подается специальным механизмом через гибкий шланг (длиной более 1 м) и мундштук *1*. Регулирование подачи флюса *2* производится заслонкой *3*, а включение и выключение подачи проволоки — выключателем *5*. Для удобства ведения наплавки имеется упор *6*.

Для повышения производительности наплавки под слоем флюса применяется многоэлектродная наплавка (до 8 электродов). На рис. 4.13 показана схема такой наплавки. Многоэлектродная наплавка характеризуется малой глубиной проплавления металла и повышением коэффициента наплавки на 30...40 % по сравнению с одноэлектродной наплавкой.

Одной из разновидностей дуговой наплавки под слоем флюса является наплавка пластинчатым лежачим электродом (рис. 4.14).

На наплавляемую деталь *6* насыпается слой флюса *5*, на который укладывается электрод *4* из низкоуглеродистой листовой стали толщиной 3 мм. Сверху электрода кладется медный брус *1*, способствующий лучшему формированию наплавленного слоя.

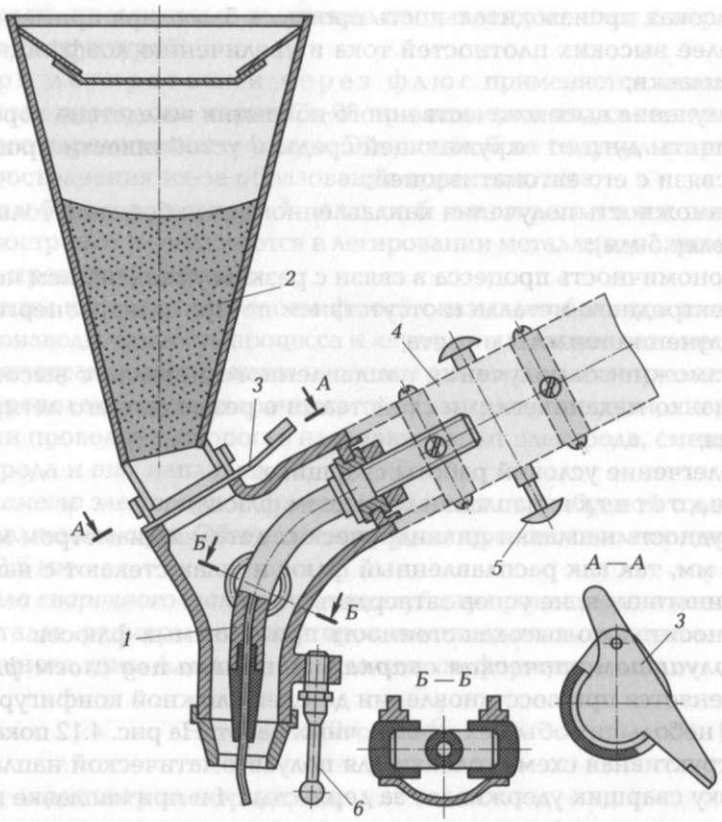


Рис. 4.12. Полуавтоматическая сварка и наплавка под слоем флюса:
1 — мундштук; *2* — флюс; *3* — заслонка; *4* — держатель; *5* — выключатель; *6* — упор

Для удержания флюса имеется приспособление *2*, препятствующее оголению электрода. Для возбуждения дуги в начале наплавки применяется мелкая стальная стружка *3*. В процессе наплавки дуга горит между концом электрода и основным металлом. Постепенное продвижение электрической дуги, по мере расплавления электрода, образует наплавленный слой. Толщина флюса под электродом составляет 4...5 мм.

Вибродуговая наплавка. Этот способ является разновидностью дуговой наплавки плавящимся металлическим электродом. Особенность вибродуговой наплавки заключается в том, что электродный материал расплавляется теплотой, которая выделяется в результате

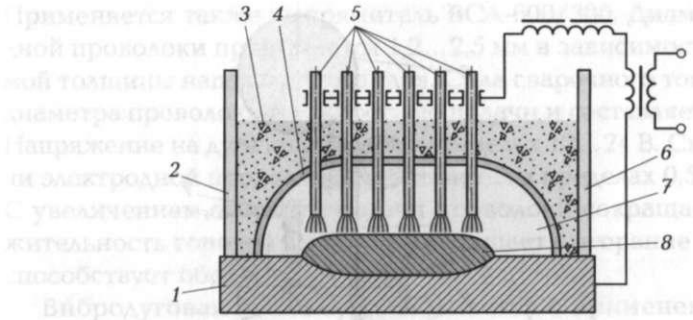


Рис. 4.13. Схема многоэлектродной наплавки:

1 — наплавляемая деталь; *2* и *6* — металлические пластины, ограничивающие расположение флюса; *3* — флюс; *4* — оболочка из расплавленного флюса; *5* — электроды; *7* — газовый пузырь; *8* — наплавленный слой

возникновения периодически повторяющихся электрических разрядов, т. е. прерывисто горящей дугой. Прерывистость горения дуги обусловлена вибрациями электродной проволоки вдоль ее оси с помощью электромагнитного или механического устройства.

На рис. 4.15 показана схема установки для вибродуговой наплавки. Наплавляемая деталь *1* устанавливается в центрах токарного станка, а наплавочная головка монтируется на суппорте станка. Электродная проволока *4* подается из кассеты *6* роликовым механизмом *5* в вибрирующий мундштук *2*. Колебания мундштука относительно оси *8* осуществляются электромагнитным вибратором *7*.

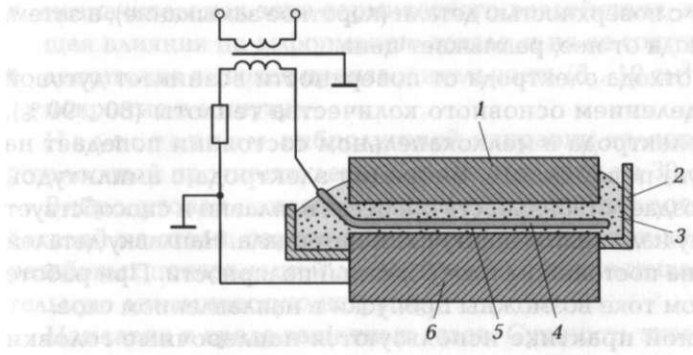


Рис. 4.14. Схема наплавки пластинчатым лежачим электродом:

1 — медный брус; *2* — приспособление для удерживания флюса; *3* — стальная стружка; *4* — электрод; *5* — слой флюса; *6* — наплавляемая деталь

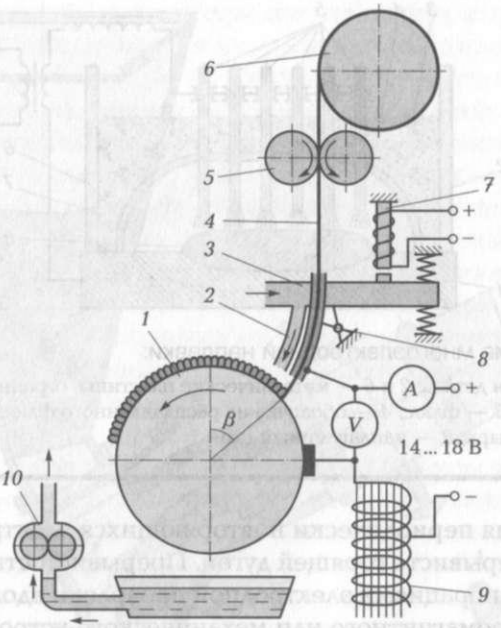


Рис. 4.15. Схема установки для вибродуговой наплавки:

1 — направляемая деталь; *2* — мундштук; *3* — канал для подачи охлаждающей жидкости; *4* — электродная проволока; *5* — роликовый механизм; *6* — кассета; *7* — электромагнитный вибратор; *8* — ось; *9* — катушка самоиндукции; *10* — насос; β — угол наклона подачи проволоки (γ = 30...45°)

За один цикл вибрации, который составляет 0,01 с, электрод сначала контактирует с поверхностью детали (короткое замыкание), а затем, в момент отхода от нее, размыкает цепь.

В период отхода электрода от поверхности возникает дуговой разряд с выделением основного количества теплоты (80...90 %), и материал электрода в мелкокапельном состоянии попадает на наплавляемую поверхность. Вибрация электрода с амплитудой 1,5...2,5 мм создает стабильность процесса наплавки и способствует равномерному наложению поштучного материала. Наплавку деталей лучше вести на постоянном токе обратной полярности. При работе на переменном токе возможны пропуски в наплавленном слое.

В ремонтной практике используются наплавочные головки с электромагнитным вибратором (модели УАНЖ-5, УАНЖ-6, ВДГ-5 и др.) и головки с магнитным вибратором (модели ОКС-1252А и КУМА-5М). Источником тока служат низковольтные генераторы.

Применяется также выпрямитель ВСА-600/300. Диаметр электродной проволоки принимается 1,2...2,5 мм в зависимости от требуемой толщины наплавленного слоя. Сила сварочного тока зависит от диаметра проволоки и скорости ее подачи и составляет 100...200 А. Напряжение на дуге колеблется в пределах 12...24 В. Скорость подачи электродной проволоки принимается в пределах 0,5...3,5 м/мин. С увеличением скорости подачи проволоки сокращается продолжительность горения дуги, что уменьшает выгорание углерода, но способствует образованию пор.

Вибродуговая наплавка выполняется с применением охлаждающей жидкости, без охлаждения в среде защитных газов и под слоем флюса.

Наплавка с применением охлаждающей жидкости (5%-ный раствор каустической соды) получила наибольшее распространение. При подводе охлаждающей жидкости непосредственно в зону наплавки значительно повышаются твердость наплавленного слоя и его износостойкость, но снижается усталостная прочность детали на 30...40 % в связи с образованием микротрещин и пористости слоя. При подводе жидкости на некотором расстоянии от зоны наплавки усталостная прочность детали повышается, но снижаются твердость и износостойкость наплавленного слоя.

При наплавке без охлаждения или ***в среде защитных газов*** твердость наплавленного слоя в зависимости от марки электродной проволоки составляет 160...450 НВ, но наплавленный слой имеет бóльшую усталостную прочность.

При наплавке под слоем флюса получают покрытие наилучшего качества.

Достоинства вибродуговой наплавки:

- незначительная зона термического воздействия, не оказывающая влияния на деформацию детали и на ее состояние;
- достаточно высокая производительность (8...10 $см^2$ поверхности покрытия в минуту).

Недостатком вибродуговой направки является снижение усталостной прочности детали после наплавки на 30...40 %.

Вибродуговая наплавка распространена при восстановлении деталей из стали, серого и ковкого чугуна (шеек валов, шлицов, резьбовых поверхностей деталей и др.), не испытывающих значительную динамическую нагрузку.

Наплавка в среде защитных газов. Сущность этого способа заключается в том, что электрическая дуга горит между электродом и наплавляемой деталью в струе газа, вытесняющего воздух из плавильного пространства, и расплав металла защищается от дей-

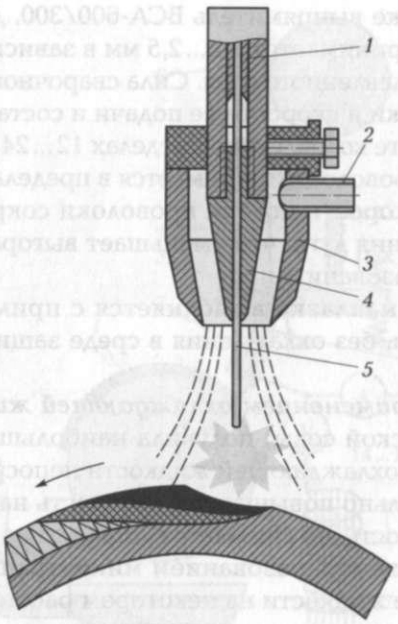


Рис. 4.16. Наплавка в среде углекислого газа (диоксида углерода):
1 — мундштук; *2* — трубка; *3* — газовое сопло; *4* — наконечник; *5* — электродная проволока

ствия кислорода и азота воздуха. При наплавке и сварке стальных деталей используется углекислый газ, а при сварке алюминия — аргон или гелий.

Рассмотрим процесс наплавки стальной детали в среде углекислого газа (рис. 4.16). Электродная проволока *5* подается с постоянной скоростью специальным механизмом в зону горения через мундштук *1* и наконечник *4*. По трубке *2* через газовое сопло *3* поступает диоксид углерода (углекислый газ) под давлением 5...20 МПа.

Наплавка ведется на постоянном токе обратной полярности, что обеспечивает получение более качественного шва и уменьшает разбрызгивание металла. Электродная проволока применяется с повышенным содержанием марганца и кремния (Св-08Г2СА, Св-12ГС, Св-18ХГСА, Нп-30ХГСА и др.). Это объясняется тем, что при сварке углекислый газ способствует образованию в наплавленном металле оксидов и пор. Кроме того, при высокой температуре дуги происходит диссоциация диоксида углерода (углекислого газа) с образованием атомарного кислорода. Окисление металла протекает по реакциям:

$$Fe + CO_2 = FeO + CO;\ Mn + CO_2 = MnO + CO$$

$$Si + 2CO_2 = SiO_2 + 2CO;\ C + CO_2 = 2CO \quad (4.12)$$

Окисление кислородом протекает по реакциям:

$$2Fe + O_2 = 2FeO;\ 2Mn + O_2 = MnO$$

$$Si + O_2 = SiO_2;\ 2C + O_2 = 2CO_2 \quad (4.13)$$

Марганец и кремний, имеющие большее сродство к кислороду, чем железо, отнимают кислород от оксида железа FeO:

$$2FeO + Si \rightarrow SiO_2 + 2Fe;\ FeO + Mn \rightarrow MnO + Fe \quad (4.14)$$

Оксиды SiO_2 и MnO образуют легкоплавкие шлаки, всплывающие на поверхность сварочной ванны.

Следует также иметь в виду роль кремния и марганца в предотвращении образования в металле пор. Будучи активными раскислителями, кремний и марганец предотвращают раскисление FeO углеродом, при котором выделяется оксид углерода по реакции

$$FeO + C \rightarrow Fe + CO \quad (4.15)$$

Указанная реакция раскисления оксида железа FeO подавляется кремнием и марганцем, и процесс кристаллизации протекает спокойнее, без образования пор.

Для автоматической наплавки используются обычно автоматы А-580М с установкой мундштука с горелкой для подачи диоксида углерода, а для полуавтоматической наплавки — полуавтоматы моделей Л-547Р, ПДГ-301 и др. Источниками тока служат сварочные преобразователи моделей ПСГ-500-1 и ПСУ-500, а также сварочные выпрямители моделей ВС-300, НДГ-301 и др.

Сварка и наплавка в среде углекислого газа выполняется электродной проволокой диаметром 0,8...2,5 мм. Например, при наплавке цилиндрических деталей диаметром 10...40 мм применяется проволока диаметром 0,8...1 мм марки Нп-30ХГСА. При диаметре детали 10 мм сила сварочного тока 75 А, а при диаметре детали 40 мм — 130...160 А. Напряжение на дуге 18...20 В. Толщина наплавленного слоя составляет 0,8...1 мм, твердость 24...35 $HRC_э$. После закалки твердость увеличивается до 50 $HRC_э$.

Преимущества наплавки деталей в среде углекислого газа по сравнению с наплавкой под слоем флюса следующие:

- возможность наплавки шеек валов диаметром 10 мм и более;
- более высокая (на 20...30 %) производительность процесса;
- меньший нагрев детали;

- отсутствие необходимости очистки наплавленного слоя от шлаковой корки.

Недостатками процесса является склонность наплавленного слоя к образованию трещин и значительное разбрызгивание металла.

Наплавка порошковой проволокой. Порошковая проволока представляет собой свернутую из стальной ленты трубку диаметром 2...3 мм, заполненную шихтой в виде механической смеси легирующих (ферросплавы, углерод и различные металлы) и защитных (мрамор, плавиковый шпат и др.) компонентов, железного порошка, а также веществ, стабилизирующих горение дуги.

Наплавка порошковой проволокой возможна открытой дугой, под слоем флюса, в среде углекислого газа, на установке для вибродуговой наплавки или вручную. При наплавке под слоем флюса или в среде углекислого газа шихта составляется в основном из легирующих элементов. Порошковые проволоки выпускаются различных марок для автоматической и полуавтоматической наплавки и сварки деталей из низко- и среднеуглеродистых сталей (ПП-АН1, ПП-АН3 и др.). При наплавке порошковой проволокой получается износостойкий наплавленный металл твердостью 40...50 $HRC_э$. Наплавка обычно ведется на постоянном токе обратной полярности.

Достоинства наплавки порошковой проволокой:

- простота выполнения процесса, так как не требуется наличие флюсов или защитных газов;
- возможность получения износостойкого наплавленного металла;
- относительно высокий коэффициент наплавки, равный 12...20 кг/(А·ч).

Недостатки наплавки порошковой проволокой: значительная стоимость проволоки, а также получение наплавленного металла с неравномерной структурой и повышенной пористостью.

При наплавке поверхностей значительной ширины и цилиндрических поверхностей больших диаметров вместо порошковой проволоки эффективнее применять порошковую ленту шириной 20...100 мм.

Электроконтактная наплавка. Сущность этого способа заключается в навивке на поверхность восстанавливаемой детали проволоки, которая приваривается электроконтактным способом импульсами тока большой силы при одновременном деформировании проволоки до требуемой толщины слоя покрытия. На рис. 4.17 показана схема электроконтактной наплавки. Деталь *2* устанавливается в центрах или в патроне токарного станка. Контактный ролик *1* и наплавочный ролик *4* смонтированы на суппорте токарного

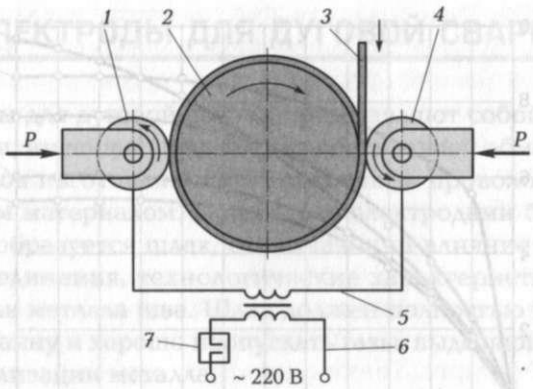


Рис. 4.17. Схема электроконтактной наплавки:

1 — контактный ролик; *2* — деталь; *3* — навиваемая проволока; *4* — наплавочный ролик; *5* — вторичный контур трансформатора; *6* — первичный контур трансформатора; *7* — прерыватель

станка. В процессе наплавки ролик *4* с помощью прижимного механизма деформирует навиваемую проволоку *3* до слоя необходимой толщины. В качестве источника питания используется сварочный трансформатор. Ток с ролика подается от вторичного контура *5* трансформатора. В первичный контур *6* вмонтирован прерыватель *7*, обеспечивающий подачу тока импульсами. Во вторичном контуре протекает ток силой до 20 тыс. А при напряжении до 7 В. Толщина наплавленного слоя может быть в пределах 0,2... 1,5 мм при диаметре электродной проволоки соответственно 0,5... 2 мм.

Для электроконтактной наплавки применяется электродная проволока марок Нп-40, Нп-50, Нп-30ХГСА и других марок в зависимости от требуемого свойства наплавленного металла.

Электроконтактный способ наплавки является весьма перспективным. К его д о с т о и н с т в а м относятся:

- высокая производительность, достигающая 100 $см^2$/мин при толщине покрытия 1 мм;
- незначительная зона термического влияния (до 0,3 мм);
- незначительные потери присадочного материала;
- благоприятные производственные условия для работы сварщиков.

Износостойкость наплавленного слоя, полученного наплавкой различными способами, в значительной степени зависит от химического состава электродной проволоки. Для иллюстрации

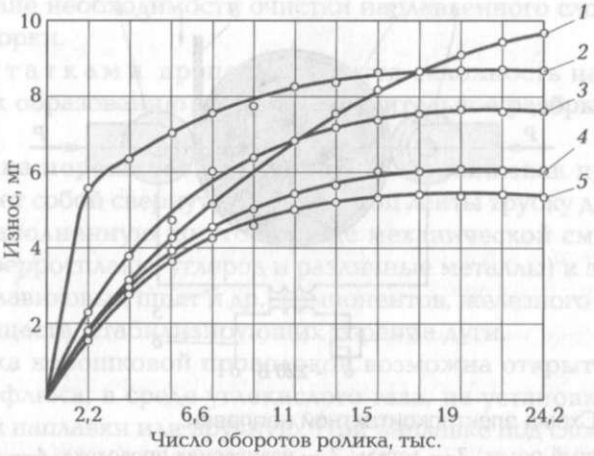


Рис. 4.18. Износостойкость покрытий, полученных наплавкой различными проволоками:

1 — проволока марки Св-08Г2С; *2* — проволока марки Нп-30ХГСА; *3* — проволока марки Нп-30ХГСА с последующей закалкой токами высокой частоты; *4* — проволока марки 2Х13; *5* — сталь 45, закаленная токами высокой частоты

влияния химического состава электродной проволоки на рис. 4.18 представлены результаты исследования сравнительной износостойкости покрытий, полученных наплавкой в среде углекислого газа. Исследовалась степень износа по сравнению с эталоном (сталь 45, закаленная) в условиях граничного трения скольжения при удельном давлении 5 МПа и наплавке различными электродными проволоками: *1* — проволокой Св-08Г2С; *2* — проволокой марки Нп-30ХГСА; *3* — проволокой марки Нп-30ХГСА с последующей закалкой токами высокой частоты; *4* — проволокой марки 2Х13; *5* — сталью 45, закаленной токами высокой частоты на твердость 56...62 $HRC_э$.

Особенности механической обработки деталей после наплавки. Эти особенности заключаются в наличии неравномерных припусков, включений шлака и неоднородности свойств наплавленного металла. В зависимости от твердости наплавленного слоя и требований к качеству поверхности применяется обработка на токарных и шлифовальных станках. При твердости наплавленного слоя не более 40 $HRC_э$ возможна токарная обработка резцами с пластинами из сплава ВК6. Если твердость наплавленного слоя превышает 40 $HRC_э$, то вместо токарной возможна анодно-механическая обработка.

4.4. ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Электроды для дуговой сварки представляют собой металлические стержни, имеющие покрытия из специальной обмазки. Стержни электродов изготовляются из сварочной проволоки и служат присадочным материалом. При сварке электродами благодаря их покрытиям образуется шлак, оказывающий влияние на качество сварного соединения, технологические характеристики и химический состав металла шва. Шлак должен полностью изолировать сварочную ванну и хорошо пропускать газы, выделяющиеся из нее при кристаллизации металла.

Важным требованием к покрытиям электродов является возможность выполнения сварки во всех пространственных положениях, зависящая от вязкости жидкого шлака. Шлаки с большим содержанием кремнезема малоподвижны, и их вязкость заметно отличается от вязкости фтористо-кальциевых шлаков, содержащих небольшое количество кремнезема. Важное значение имеет также основность шлака, мерой которой служит концентрация свободных ионов кислорода и способность компонентов шлака увеличивать концентрацию ионов кислорода в нем путем разрушения кремнекислородных комплексных соединений. Металл шва, полученный сваркой электродами с основным покрытием, обладает большой пластичностью.

Покрытия электродов имеют обозначения: А — кислые, Б — основные, Р — рутиловые, Ц — целлулоидные и П — прочие. В кислых покрытиях преобладают оксиды железа и марганца, а также кремнезем, в основных — мрамор, плавиковый шпат и ферросплавы. Тип электродов обозначается символом Э с указанием прочности металла стержней.

По назначению электроды подразделяются на несколько видов. В частности, марки электродов с индексом У предназначаются для сварки деталей из углеродистых сталей с пределом прочности шва до 600 МПа, а с индексом Л — для сварки деталей из легированных конструкционных сталей с пределом прочности более 600 МПа. Имеются и другие индексы.

По толщине покрытия различаются электроды:

- с тонким покрытием ($D/d < 1{,}2$) — М;
- со средним покрытием ($D/d = 1{,}2 \ldots 1{,}45$) — С;
- с толстым покрытием ($D/d = 1{,}45 \ldots 1{,}8$) — Д;
- особо толстым покрытием ($D/d > 1{,}8$) — Т,

где D — диаметр электрода; d — диаметр стального стержня.

ГОСТ 9466—75 на электроды регламентирует также прочность металла шва, содержание в нем серы и фосфора, пространственное положение сварки, род и полярность тока, диаметр стержня. Согласно стандартам электроды имеют 12-номерное условное обозначение. Однако в технической документации указывается лишь марка, диаметр стержня и группа по содержанию фосфора и серы. Например, в обозначении электрода УОНИ-13/45-3,0-2 указаны:

- марка электрода — УОНИ-13/45;
- диаметр стержня — 3,0 мм;
- группа по содержанию серы и фосфора — 2.

В зависимости от толщины покрытия электроды выполняют различные функции. Тонкие покрытия используются только для стабилизации электрической дуги. Другие покрытия, кроме стабилизации дуги, способствуют повышению качества шва. Наиболее широко применяются электроды с толстыми покрытиями. В состав толстых покрытий входит значительное число компонентов, которые в соответствии с их названием подразделяются:

- на ионизирующие (мел, мрамор и др.);
- газообразующие (органическое соединение);
- шлакообразующие (полевой шпат, песок, гранит и плавиковый шпат);
- связующие (жидкое стекло, декстрин и др.);
- раскисляющие;
- легирующие (ферромарганец, ферросилиций и др.).

Первые четыре из перечисленных групп компонентов всегда входят в состав качественных покрытий электродов. Что касается легирующих компонентов, то они вводятся в покрытия, когда требуется путем изменения химического состава сварного шва придать ему необходимые свойства.

Компоненты некоторых покрытий, особенно рудно-кислых, выпускавшихся длительный период, выделяют токсичные газы — оксид углерода и фтористые соединения. В настоящее время в нашей промышленности применяются преимущественно нетоксичные рутиловые покрытия электродов. Используются также электроды с ильменитовым, фтористо-кальциевым и органическим покрытиями.

В рудно-кислых покрытиях электродов шлакообразующую основу составляют оксиды железа и марганца, преимущественно в виде руды, а также полевой шпат, пегматит и другие алюмосиликаты. В покрытия вводятся органические составляющие — крахмал, декстрин и древесная мука, которые, разлагаясь при сгорании, обеспечивают газовую защиту металла шва и околошовной зоны. Оксид железа FeO_3 в процессе сварки, взаимодействуя с железом,

превращается в оксид железа FeO, который затем восстанавливается марганцем, вводимым в покрытия в виде ферромарганца. Основная часть марганца при сварке окисляется и переходит в шлак, а небольшая часть растворяется в металле шва, легируя его. Металл шва, наплавленный рудно-кислыми электродами, как правило, содержит до 0,12 % C, до 0,10 % Si, 0,6...0,9 % Mn и 0,05 % S и P. Металл шва может иметь также 0,09...0,12 % O_2, 0,015...0,025 % H_2 и 20...25 $см^3/100$ H_2.

Технологические характеристики электродов с рудно-кислым покрытием приведены в табл. 4.10. Используя такие электроды, можно производить сварку постоянным и переменным током во всех пространственных положениях.

Рудно-кислые покрытия электродов часто способствуют образованию кристаллизационных трещин в металле шва, являясь причиной высокого содержания в нем газов и неметаллических включений. Рудно-кислые покрытия влияют на снижение концентрации серы в металле шва, поэтому применение электродов с повышенным содержанием серы для сварки конструкций, испытывающих напряженное состояние, не рекомендуется. Высокая температурная прокалка электродов с рудно-кислым покрытием снижает концентрацию водорода в металле шва.

Чрезмерное раскисление сварочной ванны марганцем способствует развитию кремневосстановительных процессов и соответственно повышению концентрации кремния, который, будучи поверхностно-активным элементом, абсорбируется на поверхности металла шва, ухудшая условия дегазации, что может привести к образованию пор. По механическим свойствам металл шва может иметь следующие показатели при сварке деталей из низкоуглеродистых сталей: $\sigma_в$ = 420 МПа, δ = 18 %, ψ = 8 %.

Шлакообразующую основу ***рутиловых покрытий электродов*** составляет рутиловый концентрат, содержащий преимущественно

Таблица 4.10. Технологические характеристики электродов с рудно-кислым покрытием

Марка электрода	Коэффициент		
	наплавки, г/(А · ч)	потерь, %	разбрызгивания, %
ОММ-5	6,5...7,2	15...20	10...14
ЦМ-7	9,0...10,0	10...20	8...15
ЦМ-8	9,0...11,0	8...10	—

оксид титана и алюмосиликата, полевой шпат, каолин, карбонаты, мрамор и магнезит. Последние два вместе с ограниченными компонентами покрытий обеспечивают газовую защиту сварочного соединения. Раскисление сварочной ванны осуществляется марганцем, входящим в состав покрытий в виде ферромарганца.

Первая группа электродов с рутиловыми покрытиями (рутилкарбонатная) содержит 10...15 % карбонатов, а вторая (рутилалюмосиликатная) — не более 5 %. Первая группа электродов дает более высокую основность, повышая ударную вязкость металла шва.

Рутилкарбонатные покрытия имеют электроды марок АНО-3, АНО-4, АНО-5, МР-1 и МР-3, а рутилалюмосиликатные — АНО-1, ОЗС-3, ОЗС-4, ОЗС-6 и ЦМ-9.

Металл шва, наплавленный электродами с рутиловыми покрытиями, содержит до 0,12 % C, 0,5...0,8 % Mn, 0,10...0,30 % Si, до 0,01 % P, 0,05...1,0 % O_2, 0,015...0,025 N_2 и 25...30 $см^3$ H_2.

Электроды с рутиловыми покрытиями имеют высокие сварочно-технологические свойства (табл. 4.11). Они обеспечивают хорошее формирование шва, плавный переход металла шва с основным металлом и легкую отделимость шлаковой корки, а также снижают потери металла из-за разбрызгивания. Дуга при сварке электродами с рутиловыми покрытиями горит устойчиво независимо от рода тока любой полярности. Колебание длины дуги приводит к образованию пор. Шов хорошо очищается от оксидов при сварке окисленных поверхностей. Металл шва, наплавленный электродами с рутиловыми покрытиями, менее склонен к кристаллическим трещинам, чем наплавленный электродами с рудно-кислыми покрытиями. Одним из существенных достоинств рутиловых покрытий является обеспечение хороших санитарно-гигиенических условий труда сварщиков. При сварке рутиловыми электродами можно получить сварные швы, имеющие $\sigma_в$ = 420 МПа, δ = 18 % и $a_н$ = 0,8 МДж/$м^2$.

Электродные покрытия на основе минерала FeO и TiO_2 принято называть ***ильменитовыми***. К ним относятся электроды марки ОМ-5, имеющие ряд существенных недостатков: повышенное разбрызгивание металла, неблагоприятные гигиенические характеристики условий труда сварщиков и др. Однако ильменитовые электроды имеют хорошие сварочно-технологические качества. При сварке такими электродами получаются следующие механические свойства металла шва: $\sigma_в$ = 420 МПа, δ = 18 %, ψ = 8 %.

Увеличение содержания железа в ильменитовых электродах повышает производительность процесса до 15...20 %. При этом улучшаются санитарно-гигиенические условия труда сварщика (электрод АНО-6).

Таблица 4.11. Технологические свойства электродов с рутиловыми покрытиями

Показатель	Электроды	
	рутилкарбонатные АНО-3, АНО-4, АНО-5, МР-1 и МР-3	рутилалюмосиликатные ОЗС-3, ОЗС-4, ОЗС-6 и ЦМ-9
Содержание железного порошка в покрытии, мас. %	0...20	30...35
Коэффициент наплавки, %	8...9	9...12
Коэффициент массы покрытия, %	35...50	50...65
Производительность наплавки для электрода диаметром 4 мм, г/мин	23...50	35...50

Широко применяются ***фтористо-кальциевые покрытия электродов***, шлакообразующие компоненты которых составляют в основном плавиковый шпат (CaFe) и карбонаты кальция и магния (мрамор, мел и магнезит), выделяющие углекислый газ при сварке. В результате разложения последних создается газовая защита шва. Раскисление металла шва производят марганец, кремний, титан или алюминий, входящий в состав покрытия в виде феррорасплавов или отдельных металлических порошков. Активные раскислители — кремний, титан и алюминий обеспечивают низкое содержание кислорода в металле шва, образовавшиеся при этом стойкие оксиды металлов растворяются плавиковым шпатом и переходят в шлак. Содержание кислорода в металле шва не превышает 0,03...0,05 %, азота — 0,010...0,015 %, неметаллических включений — 0,1 % и водорода — 5...7 $см^3$. Металл шва, наплавленный фтористо-кальциевыми электродами, содержит 0,5...1,5 % Mn, 0,3...0,5 % Si и не более 0,035 % P и S. Низкая концентрация фосфора и серы обусловлена рафинирующим действием плавикового шпата в шлаке.

Фтористо-кальциевые покрытия чувствительны к воздействию влажной атмосферы, поэтому для предотвращения образования пор в металле шва целесообразно прокалить электроды перед использованием при температуре 300...350 °С. Кромки сваренного металла необходимо хорошо очистить от ржавчины и загрязнений. Шов, выполненный с соблюдением этих правил, дает высокое значение ударной вязкости как при положительных, так и при отрицатель-

ных температурах, а также стоек против старения. Фтористо-кальциевые электроды применяются при сварке постоянным током обратной полярности. Сварочно-технологические коэффициенты шва, полученного при сварке электродами с фтористо-кальциевыми покрытиями, приведены в табл. 4.12.

Механические свойства металлов шва, сваренного электродами с фтористо-кальцевыми покрытиями: $\sigma_в$ = 450...560 МПа, $\sigma_т$ = 350...440 МПа, δ = 24...30 %, a = 1,8...2,7 МДж/м^2.

В ряде случаев, особенно при выполнении потолочных швов, используются ***электроды с органическими покрытиями***, обеспечивающие газовую защиту расплавленного металла благодаря образованию газов при разложении покрытия.

В качестве шлакообразующих компонентов к покрытиям добавляются рутил, титановый концентрат, марганцевая руда, алюмосиликаты и карбонаты. В покрытия вводится также ферромарганец, служащий раскислителем. Наибольшее распространение получили электроды ВСЦ-4 и ВСЦ-4А с целлулоидом, который обеспечивает $\sigma_в$ = 440...600 МПа, $\sigma_т$ = 350...490 МПа, δ = 20...28 % и $a_н$ = 1,1...1,6 МДж/м^2. В металле шва обычно содержится 0,04...0,10 % O_2, 0,02 % N_2 и 25...35 см^3/100 г H_2. Недостатком электродов с органическими покрытиями являются большие потери (до 20 %) металла от разбрызгивания.

Для горячей сварки деталей из чугуна с нагревом до 600...650 °С используются чугунные электроды, сердечники которых изготовлены из чугуна. В табл. 4.13 приведены составы покрытий чугунных электродов.

Полугорячая сварка чугунных деталей (нагрев до 400 °С) дает хорошие результаты при использовании в качестве стержня прутков из никелевых чугунов — нирезиста и никросилала (табл. 4.14). Покрытие электродного стержня: карборунд — 55 %; углекислый барий — 23,7 %; жидкое стекло — 21,3 %. Толщина покрытия должна составлять 0,5...0,8 мм при стержне диаметром 7...8 мм.

Таблица 4.12. Сварочно-технологические коэффициенты шва, полученного электродами с фтористо-кальциевыми покрытиями

Марка электрода	Коэффициент		
	наплавки, г/(А·ч)	потерь, %	разбрызгивания, %
УОНИ-13/45; УОНИ-13/55	8...9	5...9	3...6

Окончание табл. 4.12

Марка электрода	Коэффициент		
	наплавки, г/(А·ч)	потерь, %	разбрызгивания, %
АНО-7	8...9	3...7	1,5...3
СМ-11	9...10	—	1,5...3

Таблица 4.13. Составы покрытий чугунных электродов, мас. %

Материал покрытия	Марка электрода			
	ОМЧ-1	ВЧ-3	Станколит	ЭПЧ
Мрамор или мел	25	10	14	—
Графит	41	—	—	30
Ферромарганец	9	—	36	—
Полевой шпат	25	—	—	—
Ферросилиций	—	30	—	30
Карборунд	—	60	28	—
Плавиковый шпат	—	—	12	—
Маршалит	—	—	10	—
Ферротитан	—	—	—	15
Феррофосфор	—	—	—	10
Силикокальций	—	—	—	15
Жидкое стекло	30...35	30...35	30	30...35

Таблица 4.14. Состав электродных стержней из никелевых чугунов

Марка никелевого чугуна	Содержание элементов, мас. %				
	C	Ni	Si	Cu	Mn
Нирезист	2	29	1,3	7,6	0,4
Никросилал	2,0...2,3	19...22	5,2...6,4	—	0,5

Примечание. Остальное в составе электродных стержней из никелевых чугунов — железо.

Для холодной сварки деталей из чугуна используются электроды, характеристика которых приведена в табл. 4.15.

Для ручной электродуговой сварки деталей из алюминия разработан электрод ОЗА-1, а из алюминиевых сплавов — электрод ОЗА-2 (табл. 4.16).

Существуют также электроды для наплавки, регламентированные ГОСТ 10051—75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы», в котором приводятся 43 марки электродов с указанием химического состава наплавленного металла и его твердости. Полное обозначение наплавочных электродов производится по тому же принципу, что и сварочных. Например, в технических документах электроды первой группы ОЗН-ЗУ для наплавки с диаметром стержня 4 мм имеют обозначения: ОЗН-ЗУ-4,0-1 (ГОСТ 9466—75). В табл. 4.17 приведены характеристики некоторых марок электродов для ручной наплавки.

Таблица 4.15. Электроды для холодной сварки чугунных деталей

Марка электрода	Материал стержня	Покрытие
ЦЧ-4	Проволока Св-0,8	Основного типа
034-1	Медь марок М-2 и М-3	Основного типа с примесью железного порошка
МНЧ-1	Сплав марки НМЖМц-28-2,5-1,5 (монель)	Основного типа
МНЧ-2	Сплав марки МНМц-40-1,5 (константан)	Основного типа

Таблица 4.16. Электроды для сварки деталей из алюминия и его сплавов

Марка электрода	Содержание элементов, мас. %				
	KCl	LiCl	NaF	NaCl	Алюминиевый сплав
ОЗА-1	2,5	9,1	5,2	18,2	35
ОЗА-2	50	—	—	30	20

Таблица 4.17. Электроды для наплавочных работ

Характеристика	Электрод		
	У-340-ПБ	ОЗН-300	ОЗН-400
Ток	Постоянный*	Переменный и постоянный*	
Коэффициент наплавки, г/(А · ч)	8...9	8...9	8...9
Переход металла стержня в шов, %	85...95	85...95	85...93
Твердость HRC третьего слоя наплавки с междуслойным охлаждением	260...340	270...330	370...420
Состав компонентов покрытия, мас. %:			
мрамор	49	52,4	48
плавиковый шпат	15	19	19
кварц	9	—	—
ферросилиций	7	—	—
жидкое стекло	15...18	15...18	15...18
алюминий	—	3	3

Примечание. Знаком «*» отмечены наплавки постоянным током обратной полярности.

4.5. РУЧНАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА И НАПЛАВКА СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

В ремонтном производстве ручная электродуговая сварка обычно применяется при устранении в деталях трещин и изломов небольших размеров, когда использование механизированных способов сварки нерационально, а также при сварке деталей сложной формы.

Ручная наплавка применяется при восстановлении изношенных поверхностей деталей небольших размеров, а также гладких и резьбовых отверстий диаметром менее 25 мм.

Перед выполнением сварочных и наплавочных работ производится подготовка деталей к сварке. Объем и характер работ, выполняемых при подготовке деталей к сварке, зависят от вида дефекта. Так, при заварке трещины сначала сверлятся отверстия диаметром 4...5 мм на ее концах для предупреждения возможно-

сти дальнейшего распространения трещины. Затем разделывается трещина шлифовальным кругом с помощью ручной шлифовальной машины.

При толщине стенок детали менее 5 мм трещину можно не разделывать, а ограничиться только зачисткой ее кромок. Если толщина стенок детали более 5 мм, то производят V-образную разделку кромок трещины (рис. 4.19, *а*), а если более 12 мм — X-образную разделку (рис. 4.19, *б*).

При восстановлении резьбы в отверстии диаметром менее 25 мм подготовка к сварке заключается в удалении старой резьбы сверлением с последующей разделкой кромок сверлом большего диаметра. Точно также подготавливаются к восстановлению гладкие отверстия небольшого диаметра. Подготовка изношенных поверхностей деталей к наплавке заключается в их механической обработке и очистке от загрязнений и оксидов.

Большинство деталей машин изготавливается из среднеуглеродистых (конструкционных) и низколегированных сталей, подвергаемых термической обработке. При сварке и наплавке деталей, изготовленных из этих сталей, возникают определенные трудности, связанные с нарушением термической обработки, окислением наплавленного металла и выгоранием легирующих элементов. Все это можно преодолеть при правильном выборе электродов и режима сварки.

В качестве электродов при ручной сварке и наплавке применяется стальной стержень с покрытием (обмазкой).

Стержень электрода при сварке изготавливается из проволоки по ГОСТ 2246—70, а при наплавке — из проволоки по ГОСТ 10543—98.

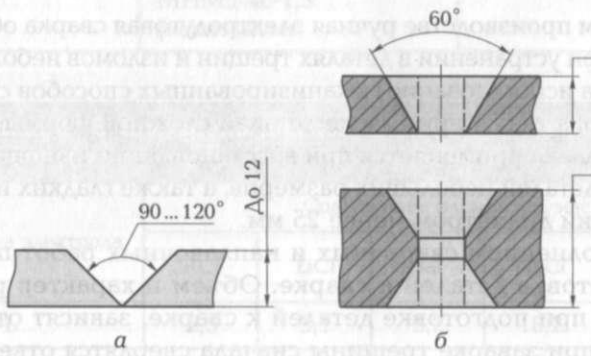


Рис. 4.19. Подготовка трещины (*а*) и отверстия (*б*) к заварке

Электродные покрытия подразделяются на толстые и тонкие.

Тонкие покрытия предназначены для стабилизации горения электрической дуги. Эти покрытия в своем составе имеют ионизирующие вещества. Наиболее распространенное тонкое электродное покрытие состоит из 80...85 % мела и 15...20 % жидкого стекла. Электроды с тонкими покрытиями применяются при восстановлении неответственных деталей.

Для получения высоких механических свойств в наплавленном металле сварка производится ***электродами с толстым покрытием***. Толстые покрытия, кроме ионизирующих веществ, имеют в своем составе шлакообразующие, раскисляющие и легирующие вещества.

Шлакообразующие вещества при плавлении электрода образуют шлаки, защищающие расплавленный металл от воздействия воздуха и способствующие получению наплавленного металла без пор, раковин и оксидных включений. В качестве шлакообразующих веществ применяется полевой шпат, кварцевый песок, мрамор и др.

В качестве раскисляющих веществ в электродные покрытия вводятся порошки ферромарганца, ферросилиция, алюминия и другие легирующие вещества, которые при плавлении электродов переходят в наплавленный металл в виде легирующих элементов, улучшающих его свойства.

В качестве легирующих веществ применяются порошки ферросплавов (феррохром, ферромарганец, ферромолибден и др.).

При сварке и наплавке большинства машиностроительных деталей применяются электроды с толстыми качественными (легирующими) покрытиями. При сварке стальных деталей используются электроды следующих марок: УОНИ-13/45 и УОНИ-13/55. Цифры в знаменателе указывают прочность шва при растяжении, соответственно 450 и 550 МПа.

При наплавке стальных деталей наибольшее применение получили наплавочные электроды марок ОЗН-250, ОЗН-300, ОЗН-350 и ОЗН-400. Здесь цифры показывают среднюю твердость наплавленного металла по Бринеллю. Стержень всех этих электродов изготовлен из сварочной низкоуглеродистой проволоки. Изменение свойств наплавленного металла достигается за счет качественных электродных покрытий.

Качество сварки и наплавки в большой степени зависит от режима, который устанавливается в зависимости от размеров и материала восстанавливаемой детали. Основными параметрами режима

сварки и наплавки являются диаметр электрода и сила сварочного тока, а при применении постоянного тока еще и полярность.

Диаметр электрода зависит от толщины свариваемой детали и определяется по таблицам, приводимым в справочниках по сварке. При наплавке деталей обычно применяются электроды диаметром 3...4 мм. Сила тока зависит от диаметра электрода и устанавливается равной 40...50 А на 1 мм диаметра электрода.

При сварке деталей можно применять переменный ток. Наплавочные работы, как правило, производятся на постоянном токе при обратной полярности. Деталь при этом соединяется с отрицательным полюсом источника тока, что обеспечивает наименьший ее нагрев.

В качестве источников тока при ручной электродуговой сварке применяются сварочные трансформаторы (ТС-300 и ТС-500), выпрямители (ВДГ-301, ВДГ-302 и ВДГ-303) и машинные преобразователи (ПСО-300, ПСО-500 и др.).

4.6. ГАЗОВАЯ СВАРКА ДЕТАЛЕЙ

Газовая сварка в ремонтном производстве применяется при ремонте изделий из тонколистового материала, а также при восстановлении деталей, изготовленных из чугуна и алюминиевых сплавов.

Газовая сварка основана на использовании теплоты, выделяющейся при сгорании в среде кислорода горючих газов. Наибольшее применение нашла *ацетилено-кислородная сварка*, которая обеспечивает получение концентрированного пламени с температурой 3 100...3 300 °С.

Для смешивания горючего газа с кислородом в нужной пропорции и образования пламени используются сварочные горелки. При ремонте наиболее часто применяются инжекторные горелки моделей ГС-53 и ГСМ-53. Каждая горелка имеет несколько наконечников с различным расходом горючего газа.

Режим газовой сварки определяется двумя параметрами: видом сварочного пламени и мощностью сварочной горелки.

В зависимости от количественного соотношения поступающих в горелку кислорода и ацетилена различают три ***вида сварочного пламени:*** нейтральное, науглероживающее и окислительное. Различные виды пламени оказывают разное влияние на свойства наплавленного металла. Наибольшую прочность наплавленный металл приобретает при сварке стальных деталей нейтральным пламенем

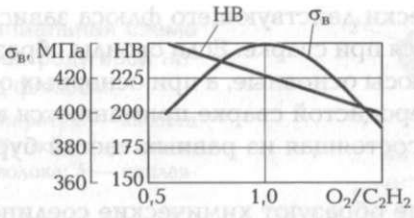


Рис. 4.20. Зависимость свойств наплавленного металла от вида пламени

(рис. 4.20). Другие виды пламени при сварке используются редко. Например, науглероживающее пламя с небольшим избытком ацетилена применяется при сварке деталей из легко окисляющихся металлов.

Выбор ***мощности сварочной горелки*** при определении режима газовой сварки также важен, как и выбор величины сварочного тока при электродуговой сварке. От правильного выбора мощности горелки зависят производительность процесса и качество сварки.

Под мощностью сварочной горелки понимается ее пропускная способность в отношении ацетилена. Мощность горелки зависит от толщины свариваемого металла, температуры его плавления и теплопроводности. При определении мощности сварочной горелки пользуются формулой

$$Q = Ah, \tag{4.16}$$

где Q — расход ацетилена, м^3/ч; h — толщина свариваемого металла, мм; A — опытный коэффициент, определяющий расход ацетилена, м^3/ч, при сварке металла толщиной 1 мм (при сварке стальных деталей $A = 0{,}10...0{,}12$; чугунных деталей — $A = 0{,}15$; деталей из алюминиевого сплава — $A = 0{,}075...0{,}10$).

Присадочный материал по своему химическому составу должен соответствовать составу материала свариваемой детали.

Для защиты расплавленного металла от окисления и удаления образовавшихся оксидов при газовой сварке применяются *флюсы*. Все флюсы подразделяются на две группы: флюсы, вступающие в химическое соединение с оксидами, и флюсы-растворители.

Флюсы первой группы образуют с оксидами легкоплавкие химические соединения, которые в виде шлака всплывают на поверхность шлаковой ванны. Химически действующие флюсы подразделяются на кислые и основные. В состав кислых флюсов входят кварцевый песок, борная кислота, бура и другие вещества, а в состав основных флюсов — сода и поташ.

Выбор химически действующего флюса зависит от того, какие оксиды образуются при сварке. Если оксиды образуются кислые, то применяются флюсы основные, а при основных оксидах — флюсы кислые. При углеродистой сварке применяются кислые флюсы — бура или смесь, состоящая из равных частей буры и борной кислоты.

Если оксиды не образуют химические соединения с флюсами, применяются флюсы-растворители, в состав которых входят хлористые и фтористые соединения. Они растворяют оксиды и образуют шлаки, всплывающие на поверхность расплавленного металла. Флюсы-растворители применяются при газовой сварке деталей из алюминиевых сплавов.

Основными достоинствами газовой сварки являются возможность регулирования температуры нагрева детали и присадочного материала и меньшее окисление наплавленного металла за счет защитных свойств факела сварочного пламени.

К недостаткам газовой сварки следует отнести высокую стоимость кислорода и ацетилена и большую зону термического влияния.

4.7. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА И НАПЛАВКА ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА

При автоматической электродуговой сварке и наплавке механизированы два основных движения электрода — подача его по мере оплавления к детали и перемещение вдоль сварочного шва.

Теория и практика процесса автоматической сварки и наплавки была разработана известным советским ученым, академиком Е. О. Патоном. Дальнейшие работы по совершенствованию этого способа сварки в настоящее время успешно продолжают его ученики в Институте электросварки им. Е. О. Патона Национальной Академии наук Украины.

Деталь при автоматической электродуговой наплавке под слоем флюса устанавливается в патроне или центрах специально переоборудованного токарного станка, а наплавочный аппарат модели А-580М или ПАУ-1 — на его суппорте (рис. 4.21). Электродная проволока *4* подается из кассеты *2* роликами подающего механизма наплавочного аппарата *1* в зону горения электрической дуги. Движение электрода вдоль сварочного шва достигается за счет

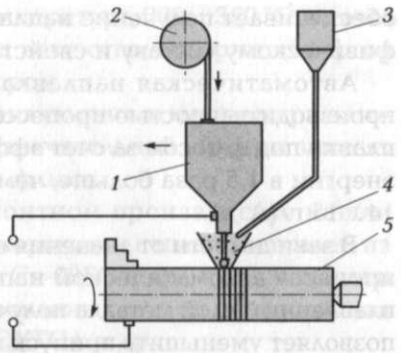


Рис. 4.21. Принципиальная схема автоматической электродуговой наплавки деталей под флюсом:

1 — наплавочный аппарат; *2* — кассета с проволокой; *3* — бункер с флюсом; *4* — электродная проволока; *5* — наплавляемая деталь

вращения детали *5*. Перемещение электрода по длине наплавляемой поверхности обеспечивается за счет продольного движения суппорта станка. Наплавка производится винтовыми валиками с взаимным их перекрытием примерно на одну треть. Флюс в зону горения дуги поступает из бункера *3*.

При автоматической наплавке электрическая дуга горит не на открытом воздухе, как при ручной сварке, а под слоем расплавленного флюса (см. рис. 4.21). Выделяющиеся при плавлении электрода, основного металла и флюса газы образуют над сварочной ванной свод, ограниченный сверху жидким шлаком, а снизу — расплавленным металлом. В зоне сварки всегда избыточное давление газов, которое препятствует доступу воздуха к расплавленному металлу.

Наплавка металла под флюсом обеспечивает наиболее высокое качество наплавленного металла, так как сварочная дуга и ванна жидкого металла полностью защищены от вредного влияния кислорода и азота воздуха. Медленное охлаждение наплавленного металла способствует наиболее полному удалению из него газов и шлаковых включений, а также обеспечивает благоприятные условия для протекания диффузионных процессов и, следовательно, легирования металла через проволоку и флюс.

При наплавке под флюсом полностью исключается возможность разбрызгивания металла. Причиной разбрызгивания металла, как известно, является реакция восстановления оксидов железа углеродом с образованием углекислого газа. Возможность протекания этой реакции при наплавке под флюсом почти полностью исключается, так как отсутствует окисление металла.

При автоматической наплавке заданный режим почти не изменяется, поэтому в каждый момент времени расплавляется вполне определенное количество электродного металла и флюса. Это

обеспечивает получение наплавленного металла, равномерного по физическому составу и свойствам.

Автоматическая наплавка под флюсом отличается высокой производительностью процесса. Коэффициент автоматической наплавки под флюсом за счет эффективного использования тепловой энергии в 1,5 раза больше, чем при ручной наплавке, и составляет 14...15 г/(А · ч).

В зависимости от значения сварочного тока производительность процесса автоматической наплавки составляет 1,5...10 кг/ч. Наплавленный слой металла получается равномерным по толщине, что позволяет уменьшить припуск на обработку детали после наплавки. В зависимости от режима толщина слоя наплавленного металла получается 0,5...5 мм и более.

При автоматической электродуговой наплавке, как и при ручной, возможно возникновение трещин и образование пор в наплавленном металле.

Возникающие при автоматической наплавке трещины бывают двух видов: хрупкие (холодные), которые появляются при охлаждении детали до 200 °С, и кристаллизационные (горячие), образующиеся при температуре 1 000...1 300 °С.

Хрупкие (холодные) трещины образуются вследствие внутренних напряжений, возникающих при наплавке детали. Уменьшить возможность их возникновения можно путем подогрева детали перед наплавкой и медленным охлаждением после наплавки.

Причинами образования кристаллизационных (горячих) трещин являются растягивающие внутренние напряжения, возникающие в металле после охлаждения, и образование прослоек жидкой эвтектики, которые обусловливают межкристаллизационные связи. Меры борьбы с этим видом трещин определяются причинами их возникновения и должны быть направлены на уменьшение внутренних напряжений и устранение эвтектических прослоек между кристаллами. Растягивающие внутренние напряжения в наплавленном металле могут быть уменьшены за счет подогрева детали перед наплавкой до температуры 250...400 °С. Образование жидкой эвтектики по границам зерен можно устранить путем применения сварочной проволоки с минимальным содержанием углерода и серы, а также введения в состав проволоки и флюса веществ, содержащих марганец, алюминий и титан, которые связывают серу.

Основной причиной возникновения пор в наплавленном металле является проникновение в него водорода и влаги, содержащихся в гигроскопическом флюсе, поэтому рекомендуется перед употре-

блением прокаливать флюс при температуре 300...350 °С в течение 1...2 ч и вводить в состав флюса вещества, содержащие фтор и кремний, которые связывают водород.

Физико-механические свойства наплавленного металла при автоматической наплавке под флюсом в значительной степени зависят от выбора электродной проволоки и флюса.

Наибольшее применение в ремонтном производстве нашли электродные проволоки следующих марок: для наплавки деталей из низкоуглеродистых сталей — Св-08, Св-08ГС и др., а для наплавки из среднеуглеродистых и низколегированных сталей — пружинная проволока 2 кл., Нп-65, Нп-80, Нп-30ХГСА и др.

При автоматической наплавке применяются два вида флюсов: плавленые (АН-348А, АН-20 и АН-30) и керамические (АНК-18 и АНК-19).

Для получения наплавленного металла требуемого химического состава и свойств применяются следующие способы легирования: легирование через электродную проволоку, легирование через флюс, легирование через порошковую проволоку и комбинированный способ легирования.

При легировании через электродную проволоку наплавка производится высокоуглеродистой или легированной проволокой под плавленым флюсом. Достоинствами этого способа являются высокая точность легирования, равномерность наплавленного металла по составу и свойствам, а также стабильность химического состава наплавленного металла при изменении режима наплавки. На рис. 4.22 показаны области изменения режима наплавки, при которых обеспечивается постоянство химического состава наплавленного металла для различных способов наплавки. Легирование наплавленного металла через проволоку наиболее широко применяется, несмотря на высокую стоимость и дефицитность легированной проволоки. При наплавке деталей высокоуглеродистой проволокой марки Нп-65 под флюсом марки АН-348А получается наплавленный металл твердостью 280...300 НВ, а при наплавке проволокой марки Нп-30ХГСА под флюсом марки АН-20 твердость повышается до 310...320 НВ.

При легировании наплавленного металла через флюс наплавка производится низкоуглеродистой дешевой проволокой (Св-08 и Св-15) под слоем легированного керамического флюса. Этот способ легирования, несмотря на его экономические достоинства, не получил широкого применения вследствие большой неравномерности наплавленного металла по химическому составу и необходимости строго выдерживать режим наплавки (см. рис. 4.22).

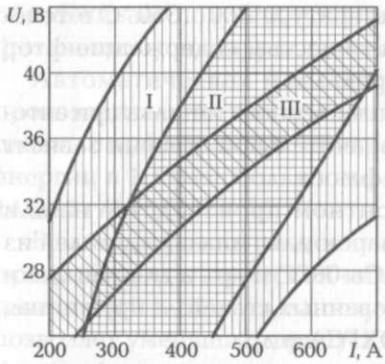


Рис. 4.22. Зависимость режима наплавки от способа легирования:

I — легирование через электродную проволоку; II — легирование через порошковую проволоку; III — легирование через флюс

При легировании через порошковую проволоку обеспечивается получение равномерного химического состава наплавленного металла. Наплавка производится порошковой проволокой, представляющей собой стальную трубку, полость которой заполнена шихтой, состоящей из смеси порошков графита, железа и ферросплавов. В качестве флюса при этом применяются плавленые флюсы АН-348А или АН-20. Изменяя состав шихты, можно получать в наплавленном металле требуемый химический состав и свойства. Недостатком этого способа легирования является дефицитность порошковой проволоки.

На ремонтных предприятиях широко применяется ***комбинированный способ легирования наплавленного металла*** одновременно через проволоку и флюс. Так, при наплавке шеек коленчатых валов ЗИЛ-130 НИИАТ рекомендует применять пружинную проволоку 2-го класса с содержанием углерода 0,6...0,65 % и флюс марки АН-348А с добавкой легирующих элементов (2,5 % гранита и 2 % феррохрома в порошке). Твердость наплавленного металла при этом получается в пределах 52...62 $HRC_э$ без термической обработки.

Режим автоматической наплавки под слоем флюса оказывает существенное влияние на производительность процесса, формирование валика наплавленного металла и его физико-механические свойства.

Режим наплавки определяется следующими параметрами: диаметром электрода, силой сварочного тока, напряжением дуги, скоростью наплавки, скоростью подачи проволоки, вылетом электрода, шагом наплавки, смещением электрода с зенита.

Диаметр электродной проволоки выбирается в зависимости от диаметра наплавляемой детали. При наплавке обычно применяется проволока диаметром 1,6...2,5 мм.

Сила сварочного тока оказывает большое влияние на глубину проплавления, размеры валика наплавленного металла и производительность процесса. С увеличением силы тока возрастает глубина проплавления основного металла, ширина и высота наплавленного валика, а также производительность процесса.

Сила тока выбирается в зависимости от диаметра электрода по специальным таблицам. Приблизительно ее можно определить также по формуле (4.11).

При наплавке обычно применяется постоянный ток обратной полярности.

Напряжение дуги связано с силой сварочного тока. Чем больше сила тока, тем выше должно быть напряжение дуги. С ростом напряжения дуги увеличивается ширина валика и уменьшается его высота. Для хорошего формирования сварочного валика напряжение дуги выдерживается в пределах 25...35 В.

Скорость наплавки обычно выбирается в пределах 12...45 м/ч. С увеличением скорости наплавки уменьшается ширина наплавляемого валика и глубина проплавления.

Скорость подачи проволоки выбирается в зависимости от диаметра электрода и силы тока. Для электродов диаметром 1,6...2 мм при силе тока 140...360 А скорость подачи проволоки применяется в пределах 75...180 м/ч.

Вылет электрода зависит от силы тока и устанавливается равным 10...25 мм.

Шаг наплавки выбирается в зависимости от требуемой толщины слоя, а также от величины тока и напряжения в пределах 3... 6 мм.

Смещение электрода с зенита в сторону, противоположную направлению вращения детали, позволяет предупредить стекание металла и флюса. Особенно это относится к деталям малого диаметра. Смещение устанавливается в зависимости от диаметра детали. Для деталей диаметром 50...150 мм оно должно быть в пределах 3...8 мм.

Автоматическая наплавка под флюсом как способ компенсации износа деталей при их восстановлении имеет следующие достоинства:

- высокая производительность процесса за счет применения больших плотностей тока и в 1,5 раза более высокий, чем при ручной сварке, коэффициент наплавки;
- экономичность процесса в отношении расхода электроэнергии (отсутствие потерь на излучение света и теплоты) и электродного металла;

- возможность получения слоя наплавленного металла большой толщины (1,5...5 мм и более);
- равномерность слоя и небольшие припуски на последующую обработку;
- возможность получения за счет легирования наплавленного металла с необходимыми физико-механическими свойствами;
- независимость качества наплавленного металла от квалификации исполнителя;
- улучшение условий труда сварщиков благодаря отсутствию ультрафиолетовых излучений.

К недостаткам этого процесса относятся:

- высокий нагрев деталей при наплавке;
- невозможность наплавки деталей диаметром менее 40 мм из-за стекания наплавленного металла и трудности удержания флюса на поверхности деталей;
- необходимость и определенная трудность удаления шлаковой корки;
- необходимость применения термической обработки наплавленного металла в целях повышения его износостойкости.

Автоматическая наплавка под флюсом применяется при восстановлении шеек коленчатых валов двигателей, шлицевых поверхностей на различных валах, полуосей и других деталей.

4.8. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ НАПЛАВКИ

Рекомендуется следующая последовательность расчета режимов наплавки:

- определяется толщина наплавляемого слоя в зависимости от величины износа и припуска на механическую обработку. Он колеблется при наплавке под слоем флюса в пределах 1,6...2 мм на сторону, а при вибродуговом способе — в пределах 0,6...1,2 мм на сторону;
- выбирается марка и диаметр электродной проволоки применительно к материалу детали и твердости ее поверхности;
- выбираются и рассчитываются электрические параметры наплавки, выбирается род сварочного тока и напряжение тока при наплавке, а также определяется сила сварочного тока;
- выбираются и рассчитываются кинематические параметры наплавки: частота вращения детали, скорость наплавки и скорость

подачи проволоки. Все данные могут быть выбраны по литературным источникам или рассчитаны по формулам.

Частота вращения детали, мин$^{-1}$, рассчитывается по формуле

$$n = \frac{1000 v_н}{60 \pi D}, \tag{4.17}$$

где $v_н$ — скорость наплавки, м/ч; D — диаметр наплавляемой поверхности, мм.

Скорость наплавки:

- под слоем флюса

$$v_н = \frac{i}{(F\gamma)100} a_н;$$

$$v_н = (0{,}4 \ldots 0{,}8) v_п, \tag{4.18}$$

где i — сила сварочного тока, А; F — площадь поперечного сечения наплавляемого шва, см^2; γ — плотность металла шва, г/см^3 (для стали γ = 7,85 г/см^3); $a_н$ — коэффициент наплавки, г/(А · ч); $v_п$ — скорость подачи проволоки, м/ч.

Коэффициент наплавки определяется по формуле

$$a_н = a_р(1 - \varphi), \tag{4.19}$$

где $a_р$ — коэффициент расплавления электродной проволоки сплошного сечения при наплавке под слоем флюса, г/(А · ч); φ — коэффициент потерь металла сварочной проволоки на угар и разрабатывание, равный 0,02 ... 0,03;

- вибродуговым способом

$$v_н = \frac{0{,}785 d_э^2 v_п \eta_п}{hS}, \tag{4.20}$$

где $d_э$ — диаметр электродной проволоки, мм; $\eta_п$ — коэффициент перехода электродной проволоки в наплавляемый металл, равный 0,8 ... 0,9; h — толщина наплавляемого слоя, мм; S — шаг наплавки, мм/об.

Скорость подачи проволоки:

- под слоем флюса

$$v_п = \frac{4 i a_н}{\pi d_э^2 \gamma}; \tag{4.21}$$

■ вибродуговым способом

$$v_{\text{п}} = \frac{0{,}1iU}{d_{\text{э}}^2}, \tag{4.22}$$

где U — напряжение, В.

4.9. МЕТАЛЛИЗАЦИЯ НАПЫЛЕНИЕМ

Физическая сущность. Процесс металлизации заключается в нанесении на поверхность детали расплавленного металла струей сжатого воздуха. Толщина покрытия, в зависимости от его назначения, может быть 0,03...10 мм и более. При ремонте машин металлизация напылением имеет пока ограниченное применение: наращивание изношенных поверхностей валов и цапф, устранение различных дефектов в корпусах (раковин и пор), а также декоративные и антикоррозионные покрытия.

Рассмотрим физическую сущность процесса металлизации. Напыляемый металл расплавляется каким-либо источником теплоты и с помощью сжатого воздуха или инертного газа распыляется на мелкие частицы диаметром 3...300 мкм. Расплавленные частицы металла, пролетая расстояние от зоны плавления до поверхности детали, успевают несколько остыть и из жидкого состояния переходят в твердое. В момент удара эти частицы, обладая достаточно большой кинетической энергией, контактируют с микрорельефом поверхности детали и между собой, образуя на поверхности детали покрытие.

Прочность такого покрытия определяется молекулярными силами сцепления контактных участков и чисто механическим зацеплением напыляемых частиц за неровности поверхности детали. Средняя температура потока частиц у поверхности детали относительно невысока (около 70 °С), что связано с подачей большого объема воздуха и небольшого объема частиц металла. В процессе напыления частицы металла подвергаются окислению. Покрытие получается пористым, достаточно хрупким и имеющим низкий предел прочности на растяжение.

В зависимости от источника расплавления металла различаются следующие виды металлизации: газопламенная, дуговая, высокочастотная и плазменная.

Газопламенная металлизация заключается в распылении металла газовым металлизатором (рис. 4.23). Присадочная проволока

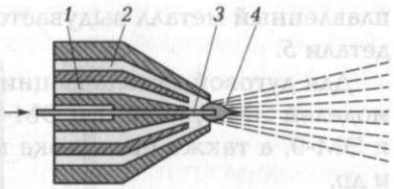


Рис. 4.23. Схема газопламенной металлизации:

1 и *2* — кольцевые каналы; *3* — присадочная проволока; *4* — восстановительное пламя

3 расплавляется пламенем смеси горючего газа (ацетилена или пропан-бутана) с кислородом. Эта смесь подается по кольцевому каналу *1*, а по кольцевому каналу *2* подается сжатый воздух или инертный газ, который распыляет жидкий металл.

Расплавление металла производится в восстановительном пламени *4*, что позволяет уменьшить выгорание легирующих элементов (углерода, марганца и др.) и тем самым повысить качество напыляемого металла.

Достоинством газопламенной металлизации является сравнительно небольшое окисление металла.

Недостаток данного способа — сложность установки и невысокая производительность процесса (2...4 кг напыляемого металла в час).

Дуговая металлизация заключается в том, что электрическая дуга возбуждается между двумя присадочными проволоками *1* (рис. 4.24), которые изолированы одна от другой и непрерывно подаются роликовым механизмом *2* со скоростью 0,6...1,5 м/мин через наконечник *3*. Одновременно через сопло *4* в зону дуги поступает воздух или инертный газ под давлением 0,4...0,6 МПа. Рас-

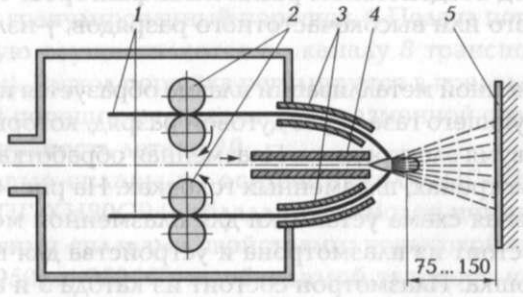


Рис. 4.24. Схема дуговой металлизации:

1 — присадочные проволоки; *2* — роликовые механизмы; *3* — наконечники; *4* — сопло; *5* — поверхность детали

плавленный металл выдувается сжатым воздухом на поверхность детали *5*.

Для дуговой металлизации применяются станочные аппараты моделей ЭМ-6, МЭС-1 и ЭМ-12, ручные аппараты моделей ЭМ-3 и ЭМ-9, а также проволока марок Нп-40, Нп-30ХГСА, Нп-3Х13 и др.

Достоинства дуговой металлизации — относительно высокая производительность процесса (3...14 кг напыляемого металла в час) и достаточно простое оборудование.

К недостаткам процесса относятся значительное выгорание легирующих элементов и повышенное окисление металла.

Высокочастотная металлизация основана на расплавлении присадочной проволоки с помощью индуктора, который питается током высокой частоты (200...300 кГц) от лампового генератора.

Высокочастотная металлизация по сравнению с дуговой имеет ряд преимуществ:

- меньше выгорание легирующих элементов проволоки в 3...6 раз и пористость покрытия;
- выше производительность процесса, так как применяется проволока большего диаметра (3...6 мм);
- меньше примерно в 2 раза удельный расход электроэнергии.

Недостатком высокочастотной металлизации является более сложное оборудование по сравнению с дуговой.

Плазменная металлизация является весьма перспективным способом напыления металлов, так как позволяет получать покрытия из тугоплавких и износостойких материалов, в том числе из твердых сплавов. Этот способ основан на способности газов переходить при определенных условиях в состояние плазмы.

Плазмой называется газ, находящийся в сильно ионизированном состоянии под воздействием различных факторов: температуры, электрического или высокочастотного разрядов, γ-излучения и детонации.

При плазменной металлизации плазма образуется пропусканием плазмообразующего газа через дуговой разряд, который возбуждается между двумя электродами. Плазменная обработка осуществляется на плазмотронах, плазменных головках. На рис. 4.25 показана принципиальная схема установки для плазменной металлизации. Установка состоит из плазмотрона и устройства для подачи напыляемого порошка. Плазмотрон состоит из катода *3* и анода (сопла) *7*, охлаждаемых потоком воды *2*. Катод изготовлен из вольфрама, анод — из меди. Катод изолирован от анода прокладкой *5*. Для получения плазменной струи между катодом и анодом возбуждают

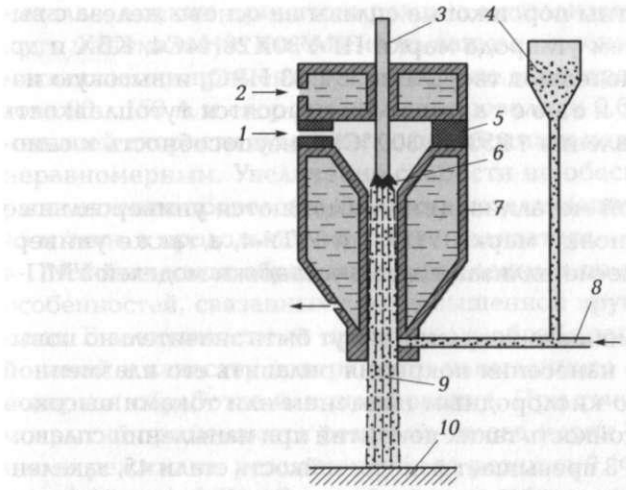


Рис. 4.25. Принципиальная схема установки для плазменной металлизации:

1 и *8* — каналы; *2* — поток воды; *3* — катод плазмотрона; *4* — гранулированный порошок; *5* — прокладка; *6* — электрическая дуга; *7* — анод плазмотрона; *9* — плазменная струя; *10* — поверхность детали

электрическую дугу *6*. Плазмообразующий газ, введенный в зону горения дуги по соплу (аноду) *7*, ионизируется и выходит из канала *1* в виде струи небольшого сечения.

В качестве плазмообразующего газа используется аргон или азот и реже водород или гелий. Температура плазменной струи достигает 10 000 ... 30 000 °С. Более высокую температуру (15 000 ... 30 000 °С) имеет аргонная плазма, однако азотная плазма является большим носителем тепловой энергии. В качестве напыляемого материала применяется гранулированный порошок *4*. Подача порошка в плазменную струю осуществляется по каналу *8* транспортирующим газом (азотом). Расход порошка регулируется в пределах 3 ... 12 кг/ч. Напыляемый порошок расплавляется плазменной струей *9* и наносится на поверхность детали *10*.

Порошковые сплавы на основе никеля (ПГ-ХН80СР2, ПГ-ХН80СР3 и ПГ-ХН80СР4) обладают наиболее ценными по сравлению с другими сплавами свойствами: невысокой температурой плавления (950 ... 1 050 °С), необходимой твердостью (в пределах 35 ... 60 $HRC_э$), жидкотекучестью, высокой износостойкостью и способностью самофлюсования. Недостатком этих сплавов является высокая стоимость.

Менее дефицитны порошковые сплавы на основе железа с высоким содержанием углерода марки ПГ-У30Х28Н4С4, КБХ и др. Эти сплавы обеспечивают твердость 56...63 $HRC_э$ и высокую износостойкость. К недостаткам их относятся тугоплавкость (температура плавления 1 250...1 300 °С) и неспособность к самофлюсованию.

Для плазменной металлизации применяются универсальные плазменные установки марки УПУ-3 и УПУ-4, а также универсальные плазменно-металлизационные установки моделей УМП-4 и УМП-5.

Свойства плазменного покрытия могут быть значительно повышены, если после нанесения покрытия оплавить его плазменной струей, ацетилено-кислородным пламенем или токами высокой частоты. Износостойкость таких покрытий при напылении сплавом марки ПГ-ХН80СР3 превышает износостойкость стали 45, закаленной до твердости 54...58 $HRC_э$, в 2...3 раза. Прочность сцепления покрытия, нанесенного на сталь, после оплавления увеличивается в 8...10 раз и равна 400...450 МПа. Плазменная металлизация с оплавлением покрытия может быть применена для восстановления деталей, работающих со знакопеременными нагрузками.

Технологический процесс металлизации. При всех способах ремонта деталей металлизацией технологический процесс состоит из подготовки детали к металлизации, нанесения покрытия и обработки детали после металлизации.

Подготовка детали к металлизации включает в себя очистку, обезжиривание и механическую обработку детали для придания напыляемой поверхности правильной геометрической формы и создания шероховатой поверхности в целях улучшения сцепления покрытия с основным металлом. Наиболее распространено образование шероховатой поверхности путем дробеструйной обработки детали чугунной дробью при давлении воздуха 0,4...0,6 МПа в течение 3...5 мин. Детали твердостью более 350 НВ подвергаются электроискровой или анодно-механической обработке, получая необходимую шероховатость.

Нанесение металлического покрытия заключается в следующем. При металлизации тел вращения деталь закрепляется в центрах токарного станка, а металлизатор устанавливается на суппорте. При металлизации плоских поверхностей напыление осуществляется с помощью металлизатора вручную. Качество покрытия зависит от ряда факторов: давления воздуха в процессе напыления, расстояния от сопла пистолета до детали, скорости подачи проволоки и скорости движения детали относительно потока распыляемого

металла, а также принятого режима металлизации, обеспечивающего минимальную окисляемость напыляемых частиц. При дуговой металлизации применяется проволока диаметром 1 ... 1,5 мм, сила тока 90 ... 150 А и скорость подачи проволоки 0,6 ... 1,5 м/мин. При меньшей скорости дуга горит с перебоями и покрытие получается неравномерным. Увеличение скорости не обеспечивает полного расплавления проволоки. Скорость металлизации принимается 5 ... 15 м/мин, а продольная подача металлизатора — 1,5 ... 5 мм/об.

Механическая обработка напыленных покрытий имеет ряд особенностей, связанных с их повышенной хрупкостью и твердостью. В зависимости от припуска на обработку, твердости и требований к качеству поверхности напыленного слоя выполняется токарная обработка или шлифование. При точении напыленных покрытий применяются резцы из сплава марки Т15К6 с пониженными режимами резания: глубина резания 0,1 ... 0,3 мм и подача 0,1 ... 0,15 мм/об. Шлифование износостойких покрытий, имеющих высокую твердость, следует выполнять алмазными кругами на вулканитовой основе.

Эксплуатационные свойства металлизированных покрытий. ***Прочность сцепления покрытий*** с основным металлом недостаточна. Так, например, прочность сцепления при электрометаллизации составляет 10 ... 25 МПа, при газовой металлизации — 12 ... 28 МПа, а при плазменной — до 40 МПа. Прочность сцепления возрастает с увеличением силы тока и расхода газа, от применения предварительного подогрева деталей до температуры 200 ... 300 °С, подслоев из легкоплавких сплавов или молибдена, а также оплавления поверхности после ее напыления.

Износостойкость металлизационных покрытий достаточно высокая, что предопределяется значительной их пористостью (до 10 ... 20 % объема), которая способствует удерживанию в напыленном слое смазочного масла. При плазменном напылении порошковой проволокой получается покрытие с пористостью в пределах 2 ... 5 %.

Значительное повышение износостойкости можно получить при плазменной наплавке путем применения тугоплавких материалов.

Усталостная прочность деталей весьма низкая, что объясняется слабой прочностью сцепления металлизационного покрытия с металлом деталей и необходимостью создания весьма шероховатой поверхности при подготовке деталей к металлизации. Таким образом, металлизированные детали, особенно полученные способами дуговой и газопламенной металлизации, не рекоменду-

ется использовать при работе со знакопеременными и повторными нагрузками.

Определение технологических параметров процесса металлизации. При разработке технологического процесса восстановления детали металлизацией определяется толщина покрытия, частота вращения детали, величина тока и продолжительность металлизации. Эти параметры могут быть рассчитаны или подобраны по литературным источникам.

Толщина покрытия цилиндрических поверхностей, мм:

$$h = \frac{D-d}{2} + \delta' + \delta'', \tag{4.23}$$

где D — номинальный диаметр детали, мм; d — наружный диаметр подготовленной поверхности, мм; δ' — припуск на механическую обработку; δ'' — дополнительная толщина покрытия, перекрывающая углубления, которые возникают при подготовке поверхности детали («рваная» резьба и др.), и равная половине глубины «рваной» резьбы.

Толщина слоя, наносимого за один проход металлизатора, мм:

$$h' = \frac{10^3}{6}\frac{Q\mathrm{K_м}}{v_н S\gamma}, \tag{4.24}$$

где Q — производительность металлизатора, г/ч; $\mathrm{K_м}$ — коэффициент использования металла; $v_н$ — окружная скорость детали, см/мин; S — подача металлизатора, см/об; γ — плотность напыленного металла, г/см^3.

Величина тока, А:

$$i = \frac{d_п \sqrt[h]{v_п}}{C}, \tag{4.25}$$

где $d_п$ — диаметр проволоки, мм; $v_п$ — скорость подачи проволоки, см/мин (принимается из паспорта металлизатора); h и C — опытные коэффициенты (для стали h = 3,5; C = 0,1; для латуни h = 1,5; C = = 0,48).

Продолжительность металлизации, ч:

$$T = \frac{0{,}006\pi D l h \gamma}{Q\mathrm{K_м}}, \tag{4.26}$$

где l — длина восстанавливаемой поверхности, см.

4.10. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

4.10.1. Технологический процесс нанесения покрытий

При ремонте технологических машин процессы электролитического и химического осаждения применяются для восстановления деталей, имеющих сравнительно малые износы, для защиты деталей от коррозии, а также для декоративного покрытия. В ремонтном производстве наиболее распространены электролитическое хромирование и осталивание, в меньшей степени — меднение, никелирование, цинкование и химическое никелирование.

Электролитическое (гальваническое) покрытие — это процесс нанесения металла на поверхность детали путем кристаллизации его из раствора соответствующей соли (электролита) в результате прохождения через соль электрического тока. На рис. 4.26 показана простейшая схема электролитического осаждения металла. Ванна *1* заполняется электролитом *4*. При пропускании через него постоянного тока молекулы раствора расщепляются на положительно заряженные частицы — катионы, которые перемещаются к отрицательному электроду *3* (катоду), где осаждаются, превращаясь в нейтральные атомы, и отрицательно заряженные частицы — анионы, перемещающиеся к положительному электроду *2* (аноду), где также теряют свой заряд и превращаются в нейтральные атомы. При многих процессах катодом служит обрабатываемая деталь, анодом — либо металл, соль которого находится в растворе, либо металл, нерастворимый в электролите. При гальванических про-

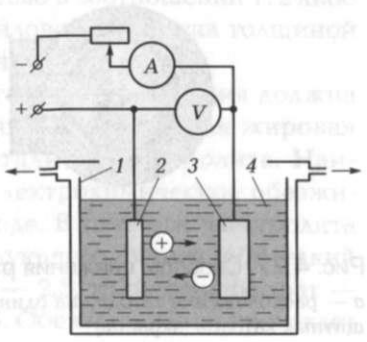


Рис. 4.26. Схема электролитического осаждения металла:

1 — ванна; *2* — анод; *3* — катод; *4* — электролит

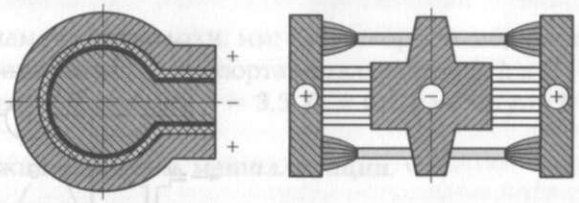
цессах не изменяются структура и свойства основного материала детали, так как нагрев детали не превышает 70...90 °С. Твердость может быть получена от 50...70 НВ для цинковых до 1 200 НВ для хромовых покрытий.

Качество покрытий зависит от ***рассеивающей способности электролита***, т. е. свойства электролита обеспечивать равномерные по толщине покрытия на катодах сложной формы, элементарные поверхности которых размещены на разных расстояниях от анода. Рассеивающая способность электролита, %, определяется по формуле

$$P = \frac{K - K_1}{K} 100,$$

где K — отношение расстояний катодов от анодов; K_1 — коэффициент распределения масс металла, т. е. отношение массы металла, отложившегося на ближнем катоде, к массе металла, отложившегося на дальнем катоде.

При гальванических покрытиях деталей, имеющих выступы или острые кромки, невозможно получить равномерные по толщине покрытия вследствие неодинаковой плотности тока (на выступающих частях плотность тока будет больше, чем в углублениях), т. е. рассеивающая способность электролита на различных участках детали будет различной. Для уменьшения рассеивающей способности электролита используется ряд приемов. В частности, стремятся расположить катоды на одинаковых расстояниях от анода (рис. 4.27, *а*) или применяются дополнительные (защитные) катоды, экраны, которые принимают на себя часть тока и тем самым устраняют образование на выступающей части детали повышенной толщины слоя покрытия (рис. 4.27, *б*).



а *б*

Рис. 4.27. Способы снижения рассеивающей способности электролита:
а — расположение катодов на одинаковом расстоянии от анода; *б* — установка защитных катодов (экранов)

4.10.2. Хромирование

Хромовые покрытия применяются для восстановления размеров изношенных деталей, а также в качестве антикоррозионного и декоративного покрытия. Они отличаются высокой твердостью, хорошей износостойкостью, превышающей в 2...3 раза износостойкость закаленной стали 45, и хорошей сцепляемостью почти с любыми металлами.

К недостаткам хромирования относятся ограничение толщины покрытия (до 0,3 мм), так как при большей толщине слой хрома отслаивается и теряет износостойкие свойства; относительно невысокая производительность процесса (до 0,03 мм/ч) из-за малых значений выхода металла по току; высокая стоимость процесса.

Хромирование состоит из подготовительных операций, собственно хромирования и заключительных операций после наложения хрома.

Подготовительные операции имеют такую последовательность:

- предварительная механическая обработка (шлифование и при необходимости полирование) изношенной поверхности детали в целях придания ей правильной геометрической формы и доведения ее до нужных размеров с учетом припуска на хромовое покрытие;
- очистка детали от оксидов шлифовальной шкуркой и предварительное обезжиривание промывкой в растворителях (дихлорэтане, уайт-спирите, бензине и др.);
- установка детали в подвесном приспособлении для правильного базирования ее относительно анода и соединения с контактами токопроводящих шин;
- изоляция мест, не подлежащих хромированию, покрытием этих мест цапонлаком в смеси с нитроэмалью в соотношении 1:2 либо нанесением пленки из перхлорвинилового пластика толщиной 0,3...0,5 мм, либо применением клея БФ и др.;
- окончательное обезжиривание детали. Эта операция должна выполняться весьма тщательно, так как тончайшая жировая пленка изолирует поверхность детали от электролита. Наилучшие результаты обеспечивает электрохимическое обезжиривание с подвеской детали на катоде. В качестве электролита используется щелочной раствор следующего состава (г/л): едкий натр — 10, кальцинированная сода — 2,5, тринатрийфосфат — 2,5 и эмульгатор марки ОП-7 — 2...5. Обезжиривание протекает

при температуре раствора 70...80 °С, плотности тока 5...10 А/дм^2 и длительности процесса 1...2 мин;

- анодная обработка (декапирование), выполняемая в целях удаления с поверхности детали тончайших пленок оксидов. Данная операция осуществляется путем погружения детали вместе с подвеской в ванну для хромирования, но при включении обратного тока, т.е. анодом служит деталь. Анодная обработка сводится к электролитическому растворению металла и одновременно к механическому отрыву оксидов выделяющимся кислородом. После завешивания детали в ванну она предварительно прогревается без тока 1...2 мин, а затем анодная обработка ведется в течение 30...45 с (при плотности тока 30...35 А/дм^2).

После анодной обработки деталь, не вынимая из ванны, переключается на катод, и наносится хромовое покрытие.

При ***хромировании*** в настоящее время применяются электролиты, которые можно условно разделить в зависимости от рода активных добавок на следующие группы:

- *сульфатные*, содержащие SO_4^{2-};
- *сульфатно-кремнефторидные*, в которых активными добавками являются SO_4^{2-} и SiF_6^{2-};
- *тетрахроматные*, у которых часть хромовой кислоты нейтрализуется с образованием в растворе тетрохромата;
- *специального назначения* (получение сплавов хрома, окрашенные хромовые покрытия и др.).

При хромировании применяются только нерастворимые аноды из свинца и его сплавов с сурьмой и оловом. В процессе электролиза на нерастворимом свинцовом аноде происходит выделение кислорода и активное окисление трехвалентного хрома до шестивалентного.

При применении сульфатных электролитов для получения покрытия хорошего качества необходимо, чтобы отношение концентраций CrO_3 к H_2SO_4 в электролите поддерживалось постоянным на уровне 90...120. Значительное понижение концентрации серной кислоты в электролите вызывает отложение серых недоброкачественных осадков хрома, а повышение ее концентрации — отложение мелкозернистых блестящих осадков (в обоих случаях при сниженном выходе хрома по току).

В зависимости от назначения покрытия применяются электролиты различных составов, приведенные в табл. 4.18.

Электролит № 1, называемый *разведенным*, обеспечивает наиболее высокую износостойкость покрытия, отличается относительно высоким выходом хрома по току (16...18 %) и лучшей по сравнению

Таблица 4.18. Состав электролитов для хромирования

Наименование показателей и компонентов	Электролиты		
	№ 1	№ 2	№ 3
Хромовый ангидрид, г/л	120...150	200...250	300...350
Серная кислота, г/л	1,2...1,5	2,0...2,5	3,5
Плотность тока, А/дм^2	40...100	20...60	10...30
Температура, °С	50...65	45...55	40...50

с другими электролитами рассеивающей способностью. Электролит № 2, называемый *универсальным*, по своим показателям занимает промежуточное положение между электролитами № 1 и 3 и применяется для получения износостойких покрытий с хорошими защитно-декоративными свойствами. Электролит № 3, называемый *концентрированным*, используется для защитно-декоративных целей. При хромировании на этом электролите выход по току относительно мал (10...12 %). Электролит № 3 отличается низкой рассеивающей способностью.

В зависимости от плотности тока и температуры электролита при неизменном его составе можно получить покрытия трех видов: серые (матовые), блестящие и молочные. На рис. 4.28 показана схема расположения зон хромовых осадков для ванны с содержанием хромового ангидрида (CrO_3) 250 г/дм^3.

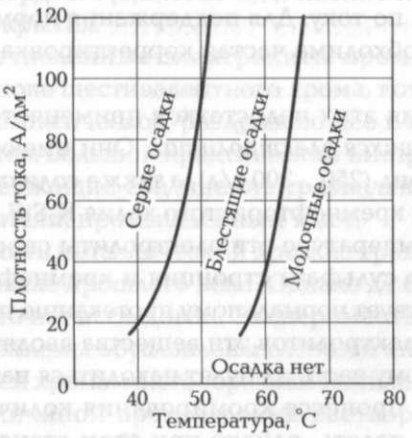


Рис. 4.28. Схема расположения зон хромовых осадков

Серые осадки отличаются высокой твердостью, повышенной хрупкостью и пониженной износостойкостью. Такие осадки при восстановлении деталей не применяются.

Блестящие осадки обладают большой твердостью, но меньшей хрупкостью. Эти осадки отличаются хорошей износостойкостью при умеренных нагрузках.

Молочные осадки отличаются достаточной пластичностью, но менее тверды. Такие осадки наносятся на детали, работающие при знакопеременных и ударных нагрузках.

В процессе электролиза на катоде одновременно с металлом осаждается водород, который может образовывать либо химические соединения с металлом покрытия, либо механически проникать в катодный осадок с образованием пустот и значительным искажением кристаллической решетки, что, в свою очередь, приводит к повышению внутренних напряжений в осадке (водородная хрупкость). Внутренние напряжения имеют положительные значения (растягивающие напряжения). Если эти напряжения превышают предел прочности покрытия на растяжение, то в хромовом покрытии возникают трещины. Для ориентировочного подсчета продолжительности хромирования можно принять, что при использовании электролита № 2 скорость осаждения хрома составляет в среднем 20 мкм/ч.

Существенным недостатком сернокислых хромовых электролитов является постепенное обеднение их хромом, который осаждается на деталях. Это приводит к нарушению соотношения между хромовым ангидридом и серной кислотой, нарушая нормальную работу ванны и снижая производительность процесса из-за малых значений выхода по току. Для поддержания нормального протекания процесса необходима частая корректировка состава электролита.

Для устранения этих недостатков применяется хромирование в *саморегулирующихся электролитах*. Они имеют в своем составе хромовый ангидрид (250...300 г/л), а также соли сульфата стронция $SrSO_4$ (5...6 г/л) и кремнефтористого калия K_2SiF_6 (18...20 г/л). При определенной температуре эти электролиты способны растворить такое количество сульфата стронция и кремнефтористого калия, которое соответствует нормальному протеканию процесса хромирования. В состав электролитов эти вещества вводятся в избыточном количестве, поэтому часть их будет находиться на дне ванны в виде твердой фазы. В процессе хромирования количество хромового ангидрида будет падать, однако при этом станет автоматически уменьшаться и содержание в растворе $SrSO_4$ и K_2SiF_6.

При снижении содержания CrO_3 ниже допустимого (200 г/л) в электролиты следует вводить дополнительное количество хромового ангидрида, которое вызовет автоматическое регулирование состава электролитов за счет растворения $SrSO_4$ и K_2SiF_6, находящихся на дне ванны.

При использовании саморегулирующихся электролитов применяется плотность тока 50...100 А/дм^2, температура электролитов 50...70 °С и напряжение тока 12 В. Достоинства применения таких электролитов: автоматическая корректировка их состава; повышенная скорость осаждения хрома (40...90 мкм/ч) в связи с более высоким выходом по току (18...20 %); относительно высокая рассеивающая способность электролитов (17...20 %); высокая твердость покрытия (9,5...10 ГПа). Основной недостаток саморегулирующих электролитов — повышенная агрессивность.

Тетрахроматные электролиты отличаются хорошей рассеивающей способностью. Состоят эти электролиты из хромового ангидрида — 350...400 г/л, серной кислоты — 2...2,5 г/л, едкого натра — 40...60 г/л и сахара — 1...3 г/л. При использовании таких электролитов применяется повышенная плотность тока (60... 80 А/дм^2) и низкая температура электролитов (16...24 °С). Тетрахроматные электролиты имеют высокий выход по току (28...30 %) и большую рассеивающую способность.

Осадки хрома имеют низкую твердость, менее частую сетку трещин и меньшую пористость. Внешний вид осадков хрома матовый, но они сравнительно легко полируются. Электролиты целесообразно применять при восстановлении деталей, имеющих невысокую поверхностную твердость (3,5...4 ГПа), а также в качестве защитно-декоративного покрытия.

Все вышеперечисленные электролиты хромирования — это соединения на основе шестивалентного хрома, которые оказывают на организм общетоксическое, раздражающее и аллергенное действие. В связи с этим большой практический интерес представляют электролиты, содержащие соединение трехвалентного хрома, так как они не относятся к промышленным ядам.

Попытки получить металлический хром из трехвалентных солей делались еще в начале прошлого века. Однако до сих пор механизм процесса недостаточно исследован. Экспериментальные трудности изучения этой проблемы обусловлены сложной химической природой растворов солей хрома: многообразием комплексов, гидролизом, очень низкой величиной произведения растворимости $Cr(OH)_3$, равной приблизительно 10^{-31}, модификационными превращениями, зависящими от температуры, pH и концентрации растворов, а также

одновременным протеканием нескольких электрохимических реакций при восстановлении ионов трехвалентного хрома до металла и необходимостью разделения катодного и анодного пространств из-за образующихся на аноде соединений шестивалентного хрома.

К ***заключительным операциям*** относятся:

- промывка детали вместе с подвеской в ванне с дистиллированной водой в целях сбора дорогостоящего хромового ангидрида;
- промывка детали в холодной проточной воде, затем погружение на 0,5...1 мин в ванну с 3...5%-ным раствором кальцинированной соды для нейтрализации остатков электролита и в заключение промывка в теплой проточной воде;
- демонтаж детали с приспособления, удаление изоляции и сушка в сушильном шкафу при температуре 120...130 °С. Для снятия в хромированном слое внутренних напряжений, возникающих в результате растворения в хромовом покрытии водорода, в отдельных случаях проводится тепловая обработка детали путем ее нагрева в масляной ванне до температуры 150...220 °С с выдержкой в течение 1,5...2 ч;
- шлифование хромированных поверхностей электрокорундовыми кругами зернистостью 60...120 и твердостью М1...М3. Припуск на шлифование оставляют 0,08...0,1 мм. Хромовые покрытия, нанесенные с декоративной целью, подвергаются полированию с применением пасты ГОИ.

4.10.3. Влияние механической обработки основы и покрытий на их физико-механические свойства

Физико-механические свойства электролитических покрытий определяют их применимость в той или иной области техники. Как показали многие исследователи, физико-механические свойства электролитических покрытий могут значительно изменяться в зависимости от условий электроосаждения, в частности, состава электролита, наличия в нем поверхностно-активных веществ, режима электролиза (температуры, плотности тока и характера поляризации) и других факторов. Среди прочих факторов, влияющих на свойства получаемых гальванических покрытий, большую роль играют состояние подложки и дальнейшая обработка покрытий.

Механическая обработка поверхностей деталей перед нанесением покрытий и обработка самих покрытий обеспечивает получение деталей, отвечающих требуемым геометрическим размерам

и имеющих необходимую шероховатость поверхности. После механической обработки поверхности восстанавливаемых деталей они не должны иметь раковин, неметаллических включений, шлифовочных трещин и прижогов.

Шероховатость поверхностей металла наряду со структурными и физико-химическими свойствами основы, а также условиями электроосаждения оказывает существенное влияние на получение качественных гальванических покрытий. Наиболее сильно на шероховатость покрытий влияют шероховатость основного металла и толщина осадка. Так, при осаждении из универсального электролита слоя хрома толщиной 0,08...0,1 мм шероховатость поверхности увеличивается в 1,5...2 раза.

Шероховатость хромированных поверхностей зависит от режимов хромирования, причем она возрастает при увеличении плотности тока и снижении температуры электролиза. Увеличение исходной шероховатости поверхностей при толщине слоя хрома 0,2 мм снижает твердость покрытий на 10 % и повышает их пористость в несколько раз (рис. 4.29).

Черновая обработка поверхностей металла образца снижает качество покрытий, однако обработка поверхностей с меньшей шероховатостью перед нанесением покрытий повышает эксплуатационные свойства деталей и уменьшает продолжительность механической обработки несмотря на введение дополнительной операции.

Одной из важнейших характеристик покрытий, применяющихся для повышения износостойкости деталей, является их ***твердость***. Твердость хромовых покрытий значительно превосходит твердость других гальванических покрытий. Однако ее значение может изменяться в очень широких границах путем изменения условий осаждения. Влияние шероховатости основы на твердость и пористость покрытий было рассмотрено ранее (см. рис. 4.29).

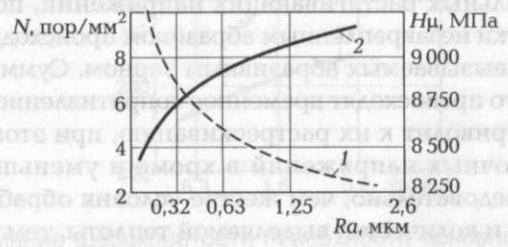


Рис. 4.29. Влияние шероховатости поверхности перед хромированием на микротвердость (*1*) и пористость (*2*) покрытий

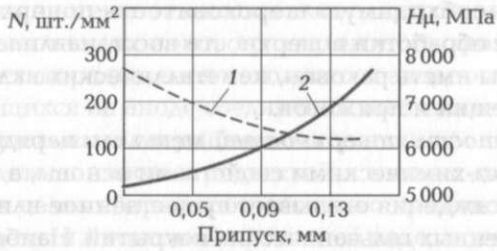


Рис. 4.30. Влияние величины снимаемого припуска на микротвердость (*1*) и пористость (*2*) покрытий

Механическая обработка самих покрытий также приводит к изменению их шероховатости, микротвердости и пористости. Причем изменение данных свойств покрытий зависит от величины снимаемого припуска (рис. 4.30). Величина снимаемого припуска при шлифовании покрытий из электролитического хрома значительно уменьшает микротвердость и увеличивает пористость осадка по сравнению с микротвердостью и пористостью нешлифованной поверхности. При снятии слоя припуска толщиной от 0,01 до 0,15 мм микротвердость шлифованной поверхности уменьшается от 5 до 25 %, а пористость увеличивается от 2 до 60 раз. Таким образом, величина снимаемого припуска при финишной механической обработке должна быть наименьшей.

Снижение микротвердости после механической обработки покрытий объясняется тем, что при снятии стружки в зоне контакта абразивного зерна с обрабатываемым металлом в поверхностном слое металла возникают значительные напряжения. Перед абразивным зерном появляются сжимающие напряжения, а сзади — растягивающие. Кроме того, происходит оттеснение металла (расклинивание) и тепловое воздействие.

Покрытия из электролитического хрома находятся всегда под действием сильных растягивающих напряжений, поэтому в процессе обработки незакрепленным абразивом происходит наложение напряжений, вызываемых абразивным зерном. Суммарные напряжения намного превосходят временное сопротивление покрытий на разрыв, что приводит к их растрескиванию, при этом происходит снятие остаточных напряжений в хроме и уменьшение микротвердости. Следовательно, чем жестче условия обработки, больше силы резания и количество выделяемой теплоты, тем больше будет уменьшаться микротвердость гладкого хрома после финишной обработки покрытий.

Кроме того, повышение температуры в зоне резания приводит к удалению из покрытий водорода, который попадает в хром в процессе его электроосаждения, что также приводит к снижению микротвердости поверхностного слоя.

Одним из важных факторов, определяющих качество покрытий, является ***прочность сцепления с покрываемой поверхностью (адгезионная прочность)***.

Величина сцепления зависит от сил притяжения, возникающих между атомами основного металла и покрытий. На адгезионную прочность влияют главным образом предварительная подготовка поверхностей деталей перед нанесением покрытий и структурные характеристики контактирующих материалов. Высокая адгезия покрытий создается за счет продолжения кристаллической решетки основного металла металлом покрытия, воспроизведения структуры основы, образования интерметаллических сплавов и соблюдения принципа непосредственной близости.

Наибольшая сцепляемость достигается при осаждении покрытий на абсолютно чистую поверхность, свободную от всякого рода загрязнений. В случае наличия самых незначительных загрязнений (например, жиров, масел и оксидных соединений) удовлетворительные по внешнему виду покрытия никогда не будут отличаться достаточным сцеплением с поверхностью металла.

В ходе исследований было установлено, что на величину прочности сцепления хромовых покрытий с основным металлом существенное влияние оказывает вид механической обработки поверхностей, подлежащих хромированию. При одинаковом значении шероховатости поверхностей, полученных при обработке стали 45 шлифованием и точением, прочность сцепления покрытий с основным металлом разная (рис. 4.31).

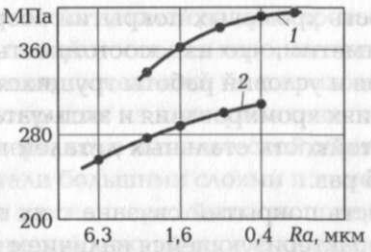


Рис. 4.31. Влияние шероховатости поверхности основного металла на прочность сцепления с хромовым покрытием:

1 — шлифованная поверхность; *2* — поверхность, обработанная резцом

На шлифованной поверхности (кривая *1*) прочность сцепления выше на 20...30 % по сравнению с поверхностью, обработанной резцом. Видно также (кривая *1*), что с уменьшением величины среднеарифметического отклонения профиля от значения 6,3...0,2 мкм прочность сцепления заметно возрастает.

Дальнейшее уменьшение шероховатости *Ra* уже не вызывает существенного увеличения прочности сцепления. Следовательно, более приемлемой операцией механической обработки поверхностей деталей, подлежащих хромированию, является шлифование до значения *Ra* = 0,4...0,2 мкм.

С увеличением толщины слоя покрытий наблюдается определенная тенденция к снижению сцепления между покрытиями и покрываемыми поверхностями. Однако в практике хромирования это обычно не учитывается. При современных нормах нагрузки трущиеся поверхности деталей, покрытые для восстановления размеров слоями хрома большой толщины, работают надежно, если были соблюдены режимы подготовки хромирования и применено шлифование покрытий.

Покрытия, связанные с основным металлом, подвержены влиянию температуры, механических нагрузок и другим внешним и внутренним силам. Наиболее напряженным, критическим местом является граничная поверхность между покрытиями и основным металлом. В связи с этим прочность сцепления покрытий и основного металла — один из важных факторов, характеризующих возможность применения металлических покрытий.

Хромовые покрытия отличаются хорошими антифрикционными свойствами: низкий коэффициент трения и высокая износостойкость.

Низкий коэффициент трения и высокая твердость хромовых покрытий позволяют применять их для исключения задиров при трении вязких, склонных к схватыванию материалов.

Износостойкость хромовых покрытий возрастает с увеличением твердости. Отметим, что износостойкость зависит от режима электроосаждения и условий работы трущихся пар. При правильно выбранных условиях хромирования и эксплуатации хромированных деталей износостойкость стальных деталей после хромирования возрастает в 3...5 раз.

Износостойкость покрытий связана с их твердостью сложной зависимостью, характеризующейся наличием максимума. Следовательно, можно предположить, что состояние подложки будет влиять на износостойкость покрытий, однако детальных исследований по этому вопросу не имеется.

Из рассмотренного можно сделать вывод, что не только условия электрохимического осаждения способствуют получению покрытий, соответствующих предъявляемым требованиям, но и соблюдение необходимых подготовительных операций, выбор которых, в свою очередь, должен производиться с учетом природы металла-основы, особенностей его обработки, а также состояния поверхностей, размеров и конфигурации деталей. Технология, сочетающая правильно выбранный состав электролита вместе с режимами электролиза для нанесения покрытий с эффективными методами предварительной и последующей обработки поверхностей, гарантирует получение покрытий высокого качества.

4.10.4. Механическая обработка поверхностей деталей до и после хромирования

Качественная обработка поверхностей и тщательная очистка их от внешних посторонних загрязнений — залог успеха в получении доброкачественных покрытий, поэтому подготовка поверхностей деталей к хромированию является важной технологической операцией.

Обработка и очистка поверхностей деталей может производиться механическим, химическим и электрохимическим способами. Однако механический способ подготовки поверхностей деталей к хромированию имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами:

- отсутствие химикатов (солей) на очищенных поверхностях и необходимость их удаления промывкой;
- отсутствие загрязнений сточных вод и водоемов;
- возможность автоматизации и механизации.

Механическая обработка деталей до хромирования производится с целью подготовить поверхность для хорошего ее сцепления с хромом, что требует возможно меньшей ее шероховатости.

Гальванические покрытия из электролитического хрома в большинстве случаев подвергаются механической обработке, так как они наращиваются на детали большими слоями и изменяют точность их размеров и формы, а также шероховатость поверхности.

Трудоемкость операций механической обработки деталей в общем процессе гальванического производства достигает 60...70 %.

В настоящее время разработано и исследовано большое количество различных методов механической обработки деталей: методы

обработки лезвийным инструментом, связанным (шлифовальные круги) и свободным абразивом.

Наиболее распространенным методом механической обработки деталей является обработка на металлорежущих станках, снабженных вращающимися дисками или кругами. С помощью ***шлифовальных кругов***, благодаря очень большому количеству мелких режущих зерен, действующих одновременно, можно производить более совершенную обработку деталей, чем при работе каким-либо другим режущим инструментом. Для достижения наиболее качественной и равномерной поверхности детали шлифуются в несколько переходов (3...5), с постоянным уменьшением величины зерен. Следует отметить, что в процессе работы абразивные зерна теряют свою режущую способность.

Обработка хромовых покрытий должна проводиться с обильным охлаждением. При недостаточном количестве смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) уменьшается активность ее воздействия в зоне резания, в связи с чем возрастают трение и силы резания. Напряжения в слое хрома растут, что увеличивает растрескивание хромовых покрытий, снижает микротвердость и повышает пористость хрома.

При выборе шлифовальных кругов существенное значение имеют их материал и степень зернистости, которая связана с характером обрабатываемой поверхности и материалом детали, а также твердость, форма и размер кругов.

Однако механическая обработка деталей шлифовальными кругами имеет свои недостатки. Так, например, профильное чистовое абразивное и алмазное шлифование требует высокоточных станков, специального профилирования и правки абразивного и алмазного инструмента. При наличии жесткой кинематической связи в системе станок—инструмент—деталь необходимо обеспечить точное базирование и установку детали. Все это требует применения труда рабочих высокой квалификации. Отметим также, что установка и зажим деталей с поверхностями сложного профиля при шлифовании затруднительны и часто приводит к значительным силовым деформациям, что не дает возможности обеспечить требуемую точность по форме и размерам.

Процесс шлифования жесткими абразивными кругами характеризуется высокой температурой в зоне контакта (около 800 °С), при этом изменяются свойства абразивных зерен: уменьшается их твердость и происходит их затупление, в связи с этим возникает потребность в частой правке затупившихся кругов, при которой удаляется часть зерен, не принимающих участие в резании.

В процессе резания при шлифовании принимают участие только абразивные зерна с оптимальной геометрией и благоприятном их расположении на рабочей поверхности кругов. Часть абразивных зерен, не отвечающих этим требованиям, легко выкрашивается и не принимает участия в резании.

Кроме того, при обработке связанным абразивом, работа резания в зависимости от давления на круги составляет 4...20 %, а работа, расходующаяся на трение (деформация металла в навалы и трение абразивного зерна о поверхность шлифовочной риски), — 80...90 %. Это приводит к значительным температурным деформациям и увеличению степени пластической деформации за счет высокого удельного давления шлифовальных кругов на поверхности деталей (1...1,5 МПа).

В процессе шлифования поверхностей деталей абразивными кругами образуются остаточные растягивающие напряжения, которые способствуют возникновению шлифовочных трещин, что в свою очередь приводит к снижению прочностных свойств деталей.

Один из перспективных способов обработки поверхностей деталей — обработка ***абразивом, находящимся в незакрепленном состоянии*** и контактирующим с обрабатываемой поверхностью не вершинами абразивных зерен, а их микро- и субмикропрофилем. При этом интенсивность субмикрорезания достаточно высока, и обеспечивается удаление поверхностного слоя металла до его усталостного разрушения от циклического передеформирования.

Глубина резания в данном случае не превышает 1 мкм, контактное давление находится в диапазоне 0,08...0,15 МПа, а также имеет место высокая степень диспергирования металла.

Все это указывает на то, что при тонких процессах абразивной обработки идет абсорбционно-пластифицирующее действие тончайшего слоя металла. При абразивной обработке незакрепленным абразивом повышается доля разрушенного металла за счет снижения степени пластической деформации примерно в 2...4 раза. Это подтверждается исследованиями работы трения при обработке деталей незакрепленным абразивом. При этом за счет малой траектории движения зерен при микрорезании и меньшей продолжительности контактирования с обрабатываемой поверхностью происходит отсутствие налипания металла на частицы уплотненного абразива и незначительное пластическое деформирование, а следовательно, меньшая работа трения по сравнению со шлифованием жесткими абразивными кругами. По данным исследований работа, расходуемая на трение, снижается до 50...60 %.

В процессе обработки в поверхностном слое металла возникают значительные сжимающие напряжения. При обработке незакрепленным абразивом имеют место низкие температуры (температура в зоне контакта не превышает 100 °С), поэтому фазовых превращений в поверхностном слое не происходит, следовательно, отсутствуют прижоги на поверхностях деталей после обработки. Таким образом, остаточные напряжения в данном способе обработки поверхностей деталей формируются только под действием силового фактора, т. е. пластических деформаций.

Низкотемпературные условия протекания процесса обработки незакрепленным абразивом способствуют более высокой стойкости абразивных зерен. Все абразивные частицы в зоне контакта принимают участие в микрорезании независимо от их расположения по отношению к обрабатываемой поверхности. Частичное скалывание вершин не исключает их из процесса обработки, так как при этом образуются новые поверхности с аналогичным рельефом, обладающие теми же режущими способностями, и обработка идет как бы в режиме самозатачивания. В процессе обработки на поверхности абразивных зерен, принявших многократное участие в микрорезании, образуется рабочий микрорельеф, обладающий достаточно высокой режущей способностью. Данный метод обработки поверхностей деталей допускает возможность многократного использования абразива, а также дозированного смешивания отработанного и свежего абразивного материала. Сравнение с шлифовальными кругами показывает более эффективное использование абразивного материала вследствие экономного его расходования. Кроме того, необходимо учесть более низкую стоимость абразивного материала, чем шлифовальных кругов, требующих больших трудозатрат на их изготовление.

При обработке незакрепленным абразивом уплотнение и поджатие абразивной среды и перемещающихся относительно нее

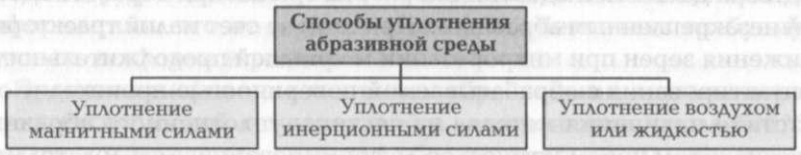


Рис. 4.32. Способы уплотнения абразивной среды, обеспечивающие относительное перемещение обрабатываемой поверхности и абразивной среды

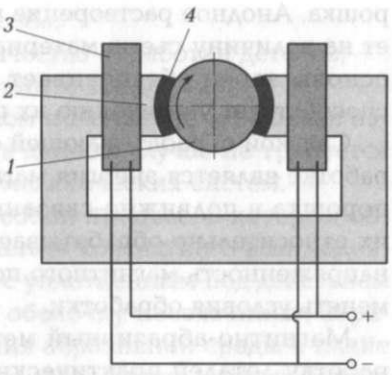


Рис. 4.33. Схема магнитно-абразивной обработки:

1 — деталь; *2* — полюсный наконечник; *3* — электромагнит; *4* — магнитно-абразивный порошок

обрабатываемых поверхностей деталей может быть осуществлено несколькими способами (рис. 4.32): магнитными силами (магнитно-абразивная обработка), инерционными силами и воздухом или жидкостью (камерная обработка).

Выбор того или иного способа уплотнения зависит от конкретных условий использования методов обработки поверхностей деталей. Возможно также комбинированное использование способов уплотнения.

Процесс магнитно-абразивной обработки — это механический или немеханический съем материала и его оксидов с поверхностей обрабатываемых деталей, а также сглаживание микронеровностей путем их пластического деформирования зернами магнитно-абразивного порошка.

Принципиальная схема магнитно-абразивной обработки приведена на рис. 4.33.

Для обработки поверхности детали *1*, помещенной между наконечниками *2* электромагнита *3*, сообщается движение, например, вращение и (или) осцилляция вдоль горизонтальной оси. Подается напряжение на катушки электромагнита, в результате чего между полюсными наконечниками наводится магнитный поток. В зазоры между деталью и полюсными наконечниками подается магнитно-абразивный порошок *4*, который удерживается там энергией постоянного магнитного поля.

Положительной стороной при магнитно-абразивной обработке является наличие в зоне протекания процесса СОЖ, являющейся носителем поверхностно-активных веществ. Это обеспечивает возникновение процесса электролиза, в ходе которого растворяются поверхностный слой деталей и ферромагнитная основа зерен по-

рошка. Анодное растворение металла поверхностей деталей влияет на величину съема материала, а растворение ферромагнитной основы зерен обеспечивает вскрытие абразивных частиц, что способствует увеличению их режущей способности.

Связкой обрабатывающей среды при магнитно-абразивной обработке является энергия магнитного поля, удерживающая зерна порошка в подвижно-связанном состоянии и координирующая их относительно обрабатываемой поверхности деталей. Изменяя напряженность магнитного поля, можно в широких пределах изменять условия обработки.

Магнитно-абразивный метод полирования обеспечивает обработку деталей практически любой геометрической формы из магнитных и немагнитных материалов. При магнитно-абразивной обработке обеспечивается снижение шероховатости поверхности с $Ra = 1{,}25...0{,}32$ мкм до $Ra = 0{,}08...0{,}01$ мкм и с $Ra = 10...2{,}5$ мкм до $Ra = 0{,}32...0{,}08$ мкм.

Однако в качестве обрабатывающей среды при магнитно-абразивной обработке деталей могут использоваться только специальные материалы, обладающие определенными магнитными свойствами.

Обработка деталей незакрепленным абразивом, уплотненным инерционными силами, осуществляется следующим образом. Обрабатывающая среда помещается в барабан, которому сообщается вращение с некоторой угловой скоростью. Под действием инерционных сил и сил трения абразивных частиц между собой и внутренней поверхностью барабана обрабатывающая среда определенным образом уплотняется и начинает вращаться вместе с барабаном. Процесс обработки осуществляется путем ввода во взаимодействии с этой уплотненной обрабатывающей средой деталей, которым могут сообщаться самые разнообразные движения.

Данным методом, как и магнитно-абразивным, могут обрабатываться детали самой разнообразной формы из различных материалов.

Недостатком этого метода является ударный характер воздействия абразивной среды на обрабатываемую поверхность, который ухудшает ее качество.

Существуют несколько схем обработки деталей различной формы уплотненным потоком свободного абразива. Наиболее перспективным из них является камерный способ со статическим уплотнением обрабатывающей среды сжатым воздухом через эластичную оболочку.

Основные достоинства этого способа:

- высокая производительность и качество обработки деталей;
- возможность обрабатывать широкий класс деталей;
- простота способа в конструктивном исполнении и большая надежность эксплуатации, так как в данном случае не требуется довольно сложных и громоздких механических систем.

Камерный способ представляет собой процесс, в котором обработка деталей происходит в результате контактного взаимодействия обрабатываемой поверхности с уплотненным под действием сжатого воздуха через эластичную оболочку несвязанным абразивом. При этом способы уплотнения абразивной среды в плане конструктивной реализации установок обеспечения относительного перемещения обрабатываемой поверхности и уплотненного слоя абразива могут быть различными.

Камерный способ в зависимости от конструктивного исполнения может быть реализован по двум основным схемам (рис. 4.34).

По схеме обработки поверхностей вращения нескольких деталей (рис. 4.34, *а*) обрабатываемые детали *1* устанавливаются на оправке *3* и вместе с абразивной средой *2* помещаются внутрь камеры *4*, имеющей боковую стенку *5*, выполненную в виде эластичной цилиндрической оболочки. Уплотнение абразивной среды в данном способе происходит при деформировании эластичной оболочки камеры под давлением приложенного сжатого воздуха. Процесс

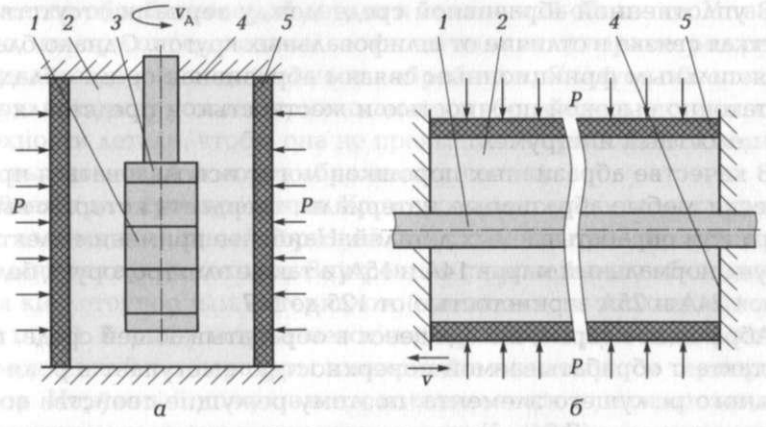


Рис. 4.34. Основные схемы обработки деталей камерным способом:

а — схема обработки поверхностей вращения нескольких деталей; *б* — схема обработки поверхностей длинномерных деталей: *1* — детали; *2* — абразивная среда; *3* — оправка; *4* — камера; *5* — боковая стенка камеры

обработки осуществляется при сообщении деталям вращательного движения.

Схема обработки поверхностей длинномерных деталей (рис. 4.34, *б*) является аналогичной предыдущей схеме по механизму уплотнения абразивной среды и отличается от нее возвратно-поступательным движением детали. Кроме того, в данной схеме эластичные стенки камеры выполнены плоскими.

В камерном способе обработки деталей уплотненный абразивный слой выполняет роль режущего инструмента. Режущий инструмент в этом случае формируется автоматически из свободных абразивных частиц, которые находятся в составе суспензии, путем уплотнения их в слой или эластичный брусок. При этом абразивные частицы находятся в состоянии плотной упаковки и копируют форму обрабатываемой поверхности. Следовательно, сам режущий инструмент в этом случае создается и профилируется в самом начале финишной операции технологического процесса в результате контактирования уплотняющихся абразивных частиц и обрабатываемой поверхности. Свободный абразив в состоянии поставки и даже абразивная суспензия, приготовленная на его основе, вне камерного метода обработки деталей не являются инструментом и не несут всей необходимой информации для исследования.

В данном способе при обработке деталей в уплотненной абразивной среде в качестве режущего инструмента применяются сухие или влажные (абразивная суспензия) абразивные порошки в уплотненном и напряженном состоянии.

В уплотненной абразивной среде между зернами отсутствует жесткая связка в отличие от шлифовальных кругов. Однако благодаря сильным фрикционным связям абразивная среда обладает достаточно высокой прочностью и жесткостью и представляется как целостный инструмент.

В качестве абразивных порошков могут использоваться практически любые абразивные материалы, твердость которых выше твердости обрабатываемых деталей. Наиболее применим электрокорунд нормальный марок 14А и 15А, а также электрокорунд белый марок 24А и 25А зернистостью от 125 до М7.

Абразивное зерно, находящееся в обрабатывающей среде, при контакте с обрабатываемой поверхностью выступает в роли отдельного режущего элемента, поэтому режущие свойства всего инструмента в целом во многом зависят от характеристик отдельных зерен.

Конкретное абразивное зерно в зависимости от материала абразива и его зернистости имеет определенные геометрические пара-

метры: радиус округления p и угол между гранями, образующими вершину абразивной частицы.

Внедрение вершины абразивного зерна в металл поверхности детали зависит от приложенной к зерну нагрузки, физико-механических свойств материала детали и величины радиуса округления вершины абразивной частицы. Известно, что характер деформации металла при микрорезании зерном зависит от соотношения глубины царапания h и радиуса округления вершины зерна p. В зависимости от соотношения этих параметров при абразивном воздействии на обрабатываемую поверхность имеет место упругое деформирование, пластическое деформирование и микрорезание. Микрорезание стабильно обеспечивается во всех случаях, когда $h/p > 1$.

Кроме того, необходимо отметить, что при обработке деталей в уплотненной абразивной среде свойства рабочей среды зависят не только от параметров отдельных зерен, но и от характера взаимодействия между ними. Отдельное абразивное зерно должно прочно закрепляться между другими зернами. В противном случае при взаимодействии с обрабатываемой деталью зерно не будет скользить, а станет перекатываться по поверхности детали, не удаляя при этом микростружку.

Основными параметрами, определяющими качество формируемой поверхности при камерном способе обработки, являются давление, прикладываемое к эластичной оболочке камерного устройства, зернистость абразивной среды, а также соотношение радиальных размеров обрабатываемой детали и эластичной оболочки. Установлено, что при определенных соотношениях этих параметров резко снижается производительность обработки. Следует обеспечить такую величину усилия, прижимающего абразивные частицы к поверхности детали, чтобы она не превышала определенной величины, вызывающей поворот абразивных частиц.

Ванны для хромирования. Хромирование осуществляется в ваннах, имеющих мощный бортовой отсос, так как при хромировании выделяются вредные пары. Внутренняя сторона ванны облицовывается кислотоупорным материалом (винипластом, эпоксидной смолой и др.). В ванну встраивается подогреватель. Для поддержания определенной температуры электролита используется терморегулятор. Наружный кожух ванны изготовляется с теплоизоляцией. Источником тока служат низковольтные (6 ... 12 В) генераторы, рассчитанные на ток 250 ... 1 500 А, либо выпрямители.

Пористое хромирование. Рассмотренный ранее процесс хромирования обеспечивает получение гладкого хрома, который ха-

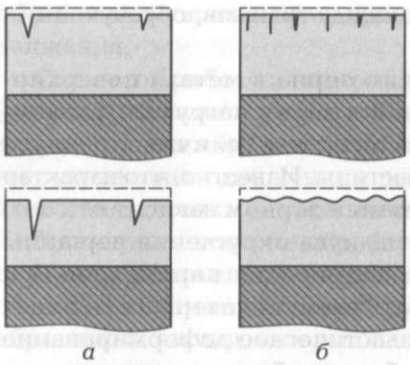


Рис. 4.35. Схема формирования канальчатого (*а*) и точечного (*б*) пористого хрома

рактеризуется слабой смачивающей способностью по отношению к маслу и плохой прирабатываемостью. В целях устранения этих недостатков применяется пористое хромирование, т. е. образование на поверхности покрытия пор. Наиболее просто получить пористость электролитическим способом путем анодного травления покрытия в электролите. Анодное травление деталей проводится в той же хромовой ванне, в которой их хромировали, путем переключения полярности тока (деталь становится анодом). Продолжительность травления 5... 10 мин. В это время происходят растворение хрома, протекающее более активно по границам первичных микротрещин, и образование пор канальчатого или точечного типа. На рис. 4.35 показана схема формирования канальчатого и точечного пористого хрома. Канальчатый хром получается при анодном травлении молочно-блестящих хромовых покрытий, а точечный — при анодном травлении серо-блестящих покрытий. Покрытия с канальчатыми порами целесообразно применять для деталей, работающих с ограниченной смазкой, а покрытия с точечной поверхностью — для деталей, к которым предъявляются требования хорошей прирабатываемости.

Пористое хромирование применяется для повышения износостойкости поршневых колец, поверхностей цилиндров двигателей и других деталей, работающих в условиях трения скольжения.

4.10.5. Осталивание

Осталивание — процесс электролитического осаждения железа. Этот процесс намного производительнее и экономичнее хромирования, так как скорость осаждения металла составляет 0,3...

0,5 мм/ч, а выход по току достигает 85...90 %, т. е. в 5...6 раз больше, чем при хромировании. Сцепляемость железного покрытия с поверхностями стальных деталей достаточно высокая (400...450 МПа). К недостаткам осталивания относится снижение усталостной прочности деталей, достигающее 30 % при покрытии стальных деталей. Это обусловлено наличием растягивающих внутренних напряжений в покрытии.

Осталивание применяется для наращивания поверхностей деталей под неподвижные посадки, восстановления деталей с большим износом (до 2...3 мм), а также в целях получения подслоя толщиной 1...3 мм для тонкого хромового покрытия (0,02...0,03 мм).

Процесс осталивания обычно протекает в хлористых электролитах, основным компонентом которых является хлорид железа (II) $FeCl_2 \cdot 4H_2O$. Концентрация хлорида железа (II) в электролитах может быть в пределах 200...700 г/л. Наиболее стабилен в работе электролит средней концентрации, содержащий (400 ± 20) г/л $FeCl_2 \cdot 4H_2O$, (2 ± 0,2) г/л HCl и (10 ± 2) г/л $MnCl_2 \cdot 4H_2O$. Наличие соляной кислоты необходимо для устойчивой работы ванны, а хлорид марганца способствует повышению сцепляемости покрытия с основным металлом.

При осталивании деталь является катодом. В качестве анода используется низкоуглеродистая сталь марки 08 или 10. В процессе электролиза анод постепенно растворяется. Концентрация соляной кислоты при работе ванны снижается, поэтому необходимо периодически контролировать состав электролита с добавлением концентрированной соляной кислоты.

Качество покрытия (твердость, износостойкость и вязкость) зависит от состава и температуры электролита, а также плотности тока. Мелкозернистые и вязкие покрытия получаются при малой плотности тока и высокой температуре. С увеличением плотности тока, при снижении температуры электролита и уменьшении концентрации хлорида железа (II) твердость покрытия возрастает.

Технологический процесс осталивания мало чем отличается от хромирования. При подготовке деталей к осталиванию не всегда требуется предварительное их шлифование (при наращивании значительного слоя железа детали обычно не шлифуются). Другие подготовительные операции (обезжиривание, изоляция мест, не подлежащих осталиванию, вторичное обезжиривание и анодная обработка) те же, что и при хромировании.

В процессе осталивания выделяется большое количество вредных газов, поэтому требуются мощные вентиляционные установки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие бывают способы восстановления и повышения долговечности деталей?
2. Для какой цели служат присадочные материалы при сварке?
3. Приведите разновидности сварочно-наплавочных процессов по принципу их механизации.
4. Приведите примеры покрытия электродов для дуговой сварки.
5. Приведите примеры подготовки трещин и отверстий к заварке.
6. Начертите принципиальную схему автоматической электродуговой наплавки деталей под флюсом.
7. Каково влияние механической обработка основы и покрытий на их физико-механические свойства?

Глава 5

РЕМОНТ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

5.1. РЕЗЬБЫ

Основные параметры резьбы. Стандартами установлены форма и размеры профиля, диаметр и шаг для наиболее распространенных резьб.

Угол профиля резьбы (α) — угол между ее смежными боковыми сторонами в плоскости осевого сечения (рис. 5.1).

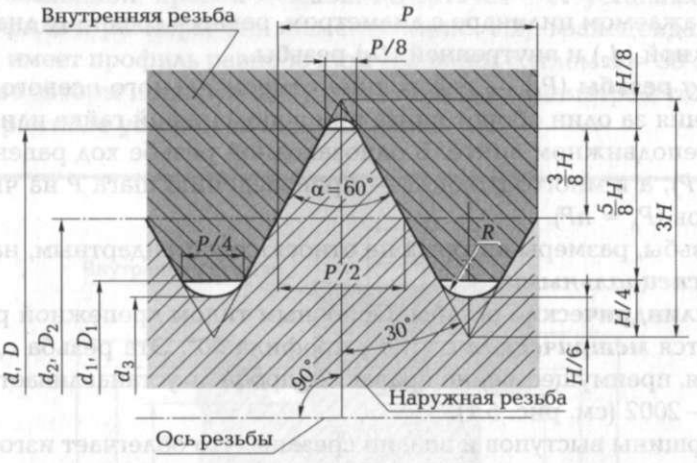


Рис. 5.1. Профиль цилиндрической резьбы:

d и D — наружный диаметр наружной и внутренней резьбы соответственно; d_1 (или d_3) и D_1 — внутренний диаметр наружной и внутренней цилиндрической резьбы соответственно; d_2 и D_2 — средний диаметр наружной и внутренней резьбы соответственно; H — высота исходного треугольника; P — шаг резьбы; R — радиус закруглений впадин резьбы; α — угол профиля резьбы

Форма канавки наружной резьбы может быть как закругленной, так и плоскосрезанной.

Наружный диаметр цилиндрической резьбы — диаметр воображаемого кругового цилиндра, описанного вокруг вершин наружной резьбы (d) или впадин внутренней резьбы (D). Этот диаметр для большинства резьб принимается за номинальный диаметр, характеризующий размеры резьбы и используемый при ее обозначении.

Средний диаметр наружной (d_2) *и* ***внутренней*** (D_2) ***цилиндрической резьбы*** — диаметр воображаемого соосного с резьбой цилиндра, пересекающего витки резьбы таким образом, что ширина выступов резьбы и ширина впадин в сечениях равны.

Внутренний диаметр наружной цилиндрической резьбы (d_3) — диаметр воображаемого кругового цилиндра, описанного вокруг впадин наружной резьбы (d_1) или вершин внутренней резьбы (D_1).

Номинальные размеры резьбы являются общими как для наружной (болта, винта и др.), так и для внутренней (гайки, резьбового гнезда и др.) резьбы.

Шаг резьбы (P) — расстояние по прямой, параллельной оси резьбы, между средними точками ближайших одноименных боковых сторон профиля резьбы, лежащими в одной осевой плоскости по одну сторону от оси резьбы. Средние точки расположены на воображаемом цилиндре с диаметром, равным среднему диаметру наружной (d_2) и внутренней (D_2) резьбы.

Ход резьбы (P_h) — расстояние относительного осевого перемещения за один оборот винта при неподвижной гайке или гайки при неподвижном винте. В однозаходной резьбе ход равен шагу ($P_h = P$), а в многозаходной — произведению шага P на число n заходов ($P_h = nP$).

Резьбы, размеры которых не относятся к стандартным, называются ***специальными***.

Цилиндрические резьбы. Основным типом крепежной резьбы является ***метрическая*** с углом профиля 60°. Эта резьба однозаходная, преимущественно правая. Ее профиль устанавливает ГОСТ 9150—2002 (см. рис. 5.1).

Вершины выступов и впадин срезаны, что облегчает изготовление резьбы, уменьшает концентрацию напряжений и предохраняет резьбу от повреждений при эксплуатации. Профиль наружной резьбы отличается от профиля внутренней резьбы размером срезанной части его вершин.

Метрическая резьба выполняется с крупным (единственным для данного диаметра резьбы) и мелким шагами, которых для данного

диаметра может быть несколько (ГОСТ 8724—2002). Мелкие шаги применяются преимущественно на тонкостенных деталях, а также при малой длине резьбы. Резьба диаметром менее 1 мм применяется в приборах точной механики, мелких шагов не имеет.

Диаметры и шаги метрической резьбы на деталях из пластмасс также выбираются по ГОСТ 8724—2002, но с некоторыми ограничениями по ГОСТ 11709—81.

Основные размеры (номинальные значения) наружного, среднего и внутреннего диаметров метрической резьбы устанавливает ГОСТ 24705—2004.

Систему допусков для посадок с зазором метрической резьбы диаметром 1...600 мм устанавливает ГОСТ 16093—2004.

Обозначение поля допуска диаметра резьбы состоит из цифры, показывающей степень точности, и буквы, обозначающей основное отклонение. Наибольшее распространение имеют следующие поля допусков: для наружной резьбы 6g и 8g, а для внутренней резьбы 6H и 7H.

На учебных чертежах допускается не наносить обозначения полей допусков.

Трапецеидальная резьба служит для передачи возвратно-поступательных движений и осевых усилий. Она может быть одно- и многозаходной, правой и левой. ГОСТ 9484—81 устанавливает ее профиль и размеры его элементов (рис. 5.2). Трапецеидальная резьба имеет профиль равнобочной трапеции с углом $\alpha = 30°$. Одинаковые зазоры по наружному и внутреннему диаметрам создают благоприятные условия для смазывания.

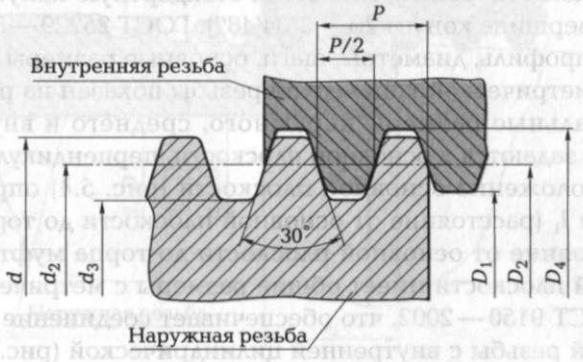


Рис. 5.2. Профиль трапецеидальной резьбы:

D_4 — наружный диаметр внутренней резьбы; остальные обозначения см. на рис. 5.1

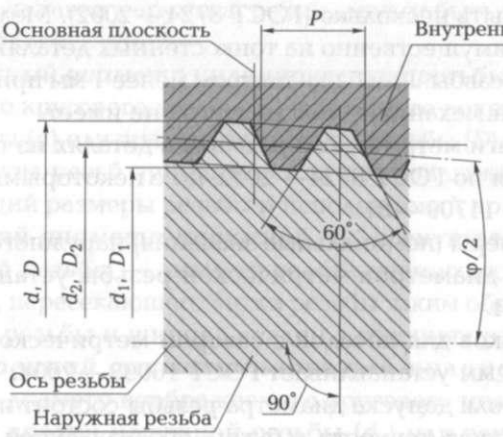


Рис. 5.3. Профиль метрической конической резьбы:
φ/2 — угол наклона; остальные обозначения см. на рис. 5.1

Для каждого номинального диаметра однозаходной трапецеидальной резьбы ГОСТ 24738—81 предусматривает различные шаги. Основные размеры резьбы устанавливает ГОСТ 24737—81, а систему допусков — ГОСТ 9562—81.

Для многозаходной трапецеидальной резьбы диаметры, шаги, ходы и допуски выбираются по ГОСТ 24739—81*.

Коническая метрическая резьба. Данная резьба применяется в герметичных соединениях трубопроводов с повышенным давлением. Коническая резьба нарезается на коническом стержне (или в коническом отверстии), имеющем стандартную конусность 1:16 (угол при вершине конуса $2\varphi = 3°34'48''$). ГОСТ 25229—82 устанавливает ее профиль, диаметры, шаги, основные размеры и допуски. Профиль метрической конической резьбы показан на рис. 5.3.

Номинальные размеры наружного, среднего и внутреннего диаметров задаются в основной плоскости, перпендикулярной оси резьбы. Положение основной плоскости (рис. 5.4) определяется размерами l_1 (расстояние от основной плоскости до торца трубы) и l_2 (расстояние от основной плоскости до торца муфты). Резьба в основной плоскости имеет общие размеры с метрической резьбой по ГОСТ 9150—2002, что обеспечивает соединение наружной конической резьбы с внутренней цилиндрической (рис. 5.5).

Конструктивные и технологические элементы резьбы. Резьба изготавливается режущим инструментом с удалением слоя материала, накаткой путем выдавливания винтовых выступов, литьем,



Рис. 5.4. Положение основной плоскости до торца трубы:

l_1 — расстояние от основной плоскости до торца трубы; l_2 — расстояние от основной плоскости до торца муфты; остальные обозначения см. на рис. 5.1

прессованием и штамповкой в зависимости от материала (металл, пластмасса, стекло и др.) и других условий.

В начале резьбы делается, как правило, коническая фаска, предохраняющая крайние витки от повреждений и служащая направляющей при соединении деталей с резьбой (рис. 5.6 и 5.7). Фаску выполняют до нарезания резьбы. Она имеет форму усеченного конуса с образующими, составляющими угол 45° с осью резьбы. Размеры фасок определяются по ГОСТ 10549—80*.

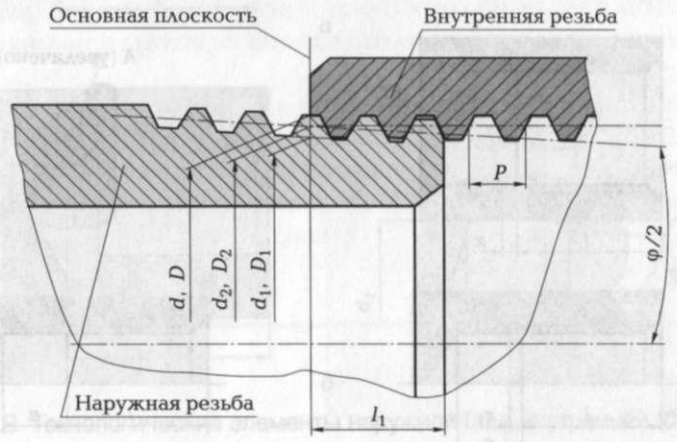


Рис. 5.5. Пример изображения соединения наружной конической резьбы с внутренней цилиндрической резьбой (обозначения см. на рис. 5.1, 5.3 и 5.4)

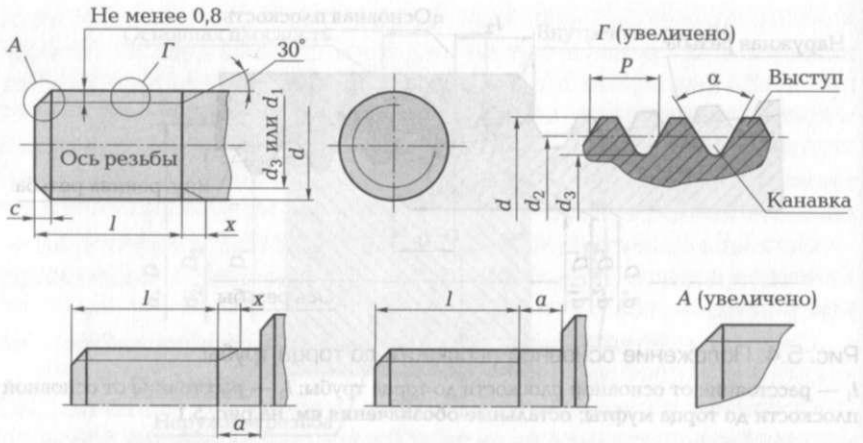


Рис. 5.6. Изображение наружной метрической резьбы:

a, *c* и *x* — размеры недореза, фаски и сбега соответственно; *l* — длина резьбы полного профиля; α — угол профиля резьбы; остальные обозначения см. на рис. 5.1

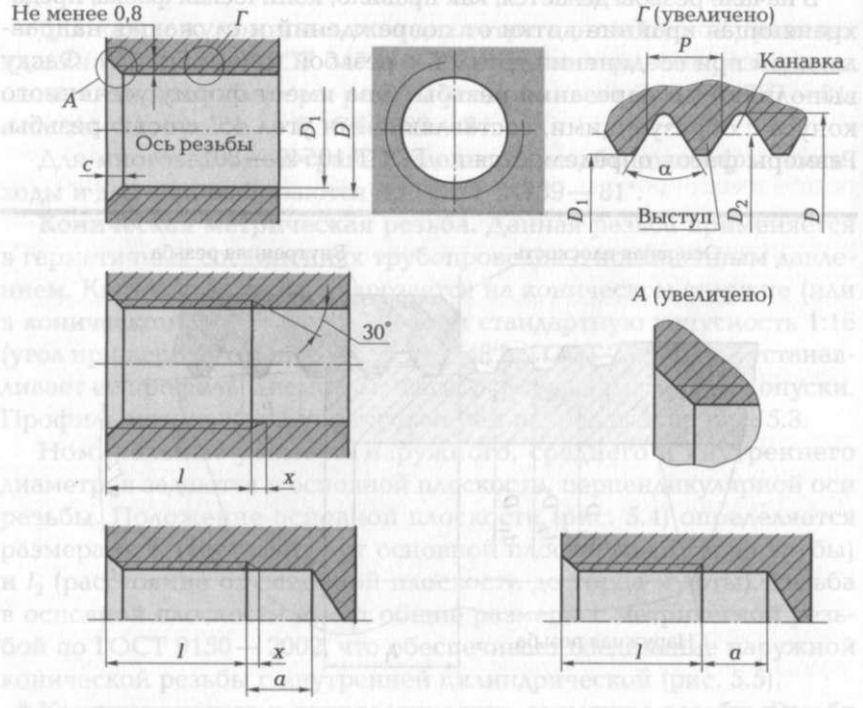


Рис. 5.7. Изображение внутренней метрической резьбы (обозначения см. на рис. 5.1 и 5.6)

Сбегом x (см. рис. 5.6 и 5.7) называется участок в зоне перехода резьбы к гладкой части детали, на котором резьба имеет неполный профиль.

Сбег обусловливает заборная часть режущего инструмента (метчика или плашки), которая имеет меняющийся профиль, обеспечивающий распределение снимаемого материала по нескольким режущим зубьям инструмента. Сбег также образуется при отводе резца.

Недорез a (см. рис. 5.7) получается при выполнении резьбы в упор. Недорез должен быть больше сбега для предотвращения касания инструментом поверхности детали.

Проточка (рис. 5.8) делается для выхода инструмента и получения резьбы полного профиля по всей длине стержня или отверстия. Диаметр проточки для наружной резьбы должен быть немного меньше внутреннего диаметра резьбы, а для внутренней

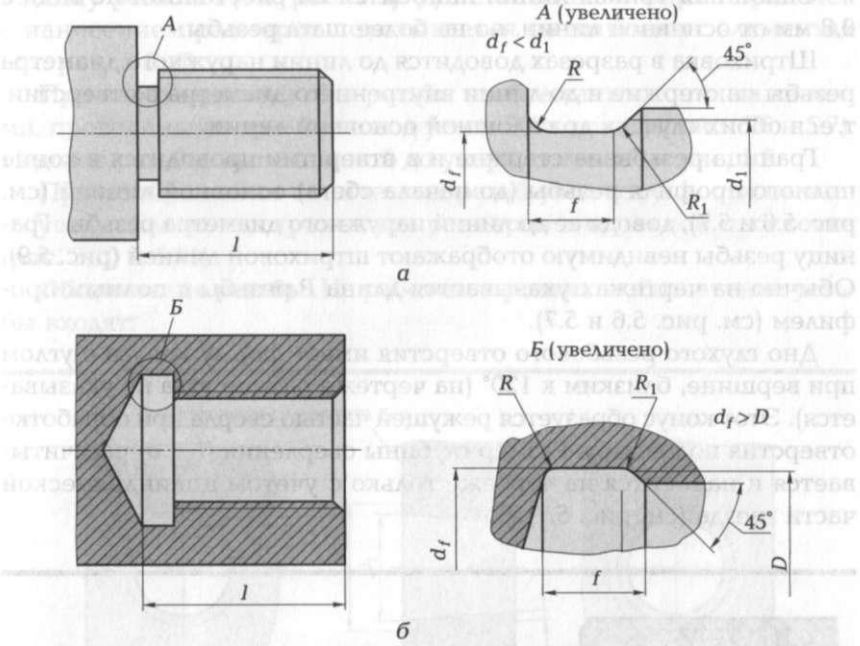


Рис. 5.8. Технологические элементы наружной (*а*) и внутренней (*б*) резьбы:

d_f — диаметр проточки; R — радиус сопряжения с телом обрабатываемой детали; f — радиус скругления при выходе инструмента после нарезания резьбы; R_1 — радиус, получаемый при нарезании резьбы на обрабатываемой детали технологическим инструментом; остальные обозначения см. на рис. 5.1 и 5.6

резьбы — немного больше наружного диаметра резьбы. Размеры сбегов, недорезов и проточек стандартизованы (ГОСТ 27148—86).

Изображение резьбы. Построение точного изображения витков резьбы достаточно длительный процесс, поэтому оно применяется в редких случаях. Согласно ГОСТ 2.311—68* на чертежах резьба изображается условно, независимо от ее профиля: на стержне сплошными основными линиями по наружному диаметру резьбы и сплошными тонкими — по внутреннему, на всю длину резьбы, включая фаску (см. рис. 5.6, место *А*).

На изображениях, полученных проецированием на плоскость, перпендикулярную оси стержня, по внутреннему диаметру резьбы проводится дуга сплошной тонкой линией, равная $^3/_4$ окружности и разомкнутая в любом месте, но не на осевых линиях (см. рис. 5.7). На этом виде фаску не показывают.

На изображениях резьбы в отверстии сплошные основные и сплошные тонкие линии как бы меняются местами (см. рис. 5.7).

Сплошная тонкая линия наносится на расстоянии не менее 0,8 мм от основной линии, но не более шага резьбы.

Штриховка в разрезах доводится до линии наружного диаметра резьбы на стержне и до линии внутреннего диаметра в отверстии, т. е. в обоих случаях до сплошной основной линии.

Граница резьбы на стержне и в отверстии проводится в конце полного профиля резьбы (до начала сбега) основной линией (см. рис. 5.6 и 5.7), доводя ее до линий наружного диаметра резьбы. Границу резьбы невидимую отображают штриховой линией (рис. 5.9). Обычно на чертежах указывается длина *P* резьбы с полным профилем (см. рис. 5.6 и 5.7).

Дно глухого резьбового отверстия имеет форму конуса с углом при вершине, близким к 120° (на чертеже размер угла не указывается). Этот конус образуется режущей частью сверла при обработке отверстия под резьбу. Размер глубины сверления ($l + a$) рассчитывается и наносится на чертеже только с учетом цилиндрической части гнезда (см. рис. 5.7).

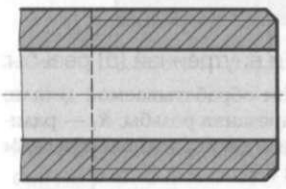


Рис. 5.9. Изображение границы резьбы

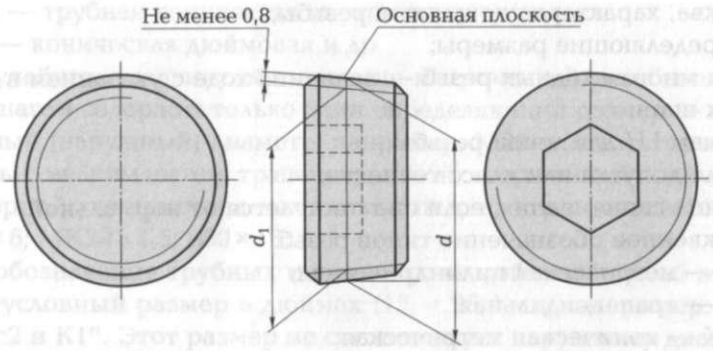


Рис. 5.10. Изображение наружной конической резьбы (обозначения см. на рис. 5.1)

На чертежах деталей проточки изображаются упрощенно прямоугольной формы (см. рис. 5.8). Их ширина включается в длину резьбы *l* (см. рис. 5.8). Действительная форма проточек с нанесением размеров показывается на выносных элементах (см. рис. 5.8, *б*).

При необходимости сбег резьбы изображается тонкими линиями, проводимыми примерно под углом 30° к оси (см. рис. 5.6 и 5.7). Недорез резьбы, выполненной до упора, показан на рис. 5.6.

При изображении конических резьб угол конусности немного увеличивают с сохранением размеров в основной плоскости (рис. 5.10 и 5.11).

Обозначение резьбы. На рабочих чертежах в обозначение резьбы входят:

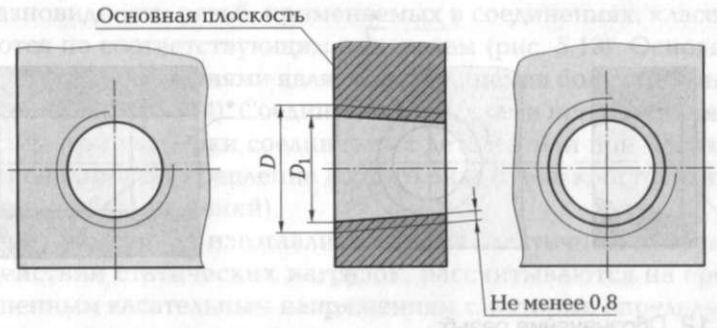


Рис. 5.11. Изображение внутренней конической резьбы (обозначения см. на рис. 5.1)

- буква, характеризующая тип резьбы;
- определяющие размеры;
- для многозаходных резьб — величина хода с указанием в скобках шага;
- буквы LH для левой резьбы;
- поле допуска или класс точности;
- длина свинчивания, если она отличается от нормальной.

Буквенное обозначение типов резьб:

- M — метрическая цилиндрическая;
- Tr — трапецеидальная;
- МК — коническая метрическая;
- S — упорная;
- Rd — круглая;
- G — трубная цилиндрическая;
- R — трубная коническая наружная;

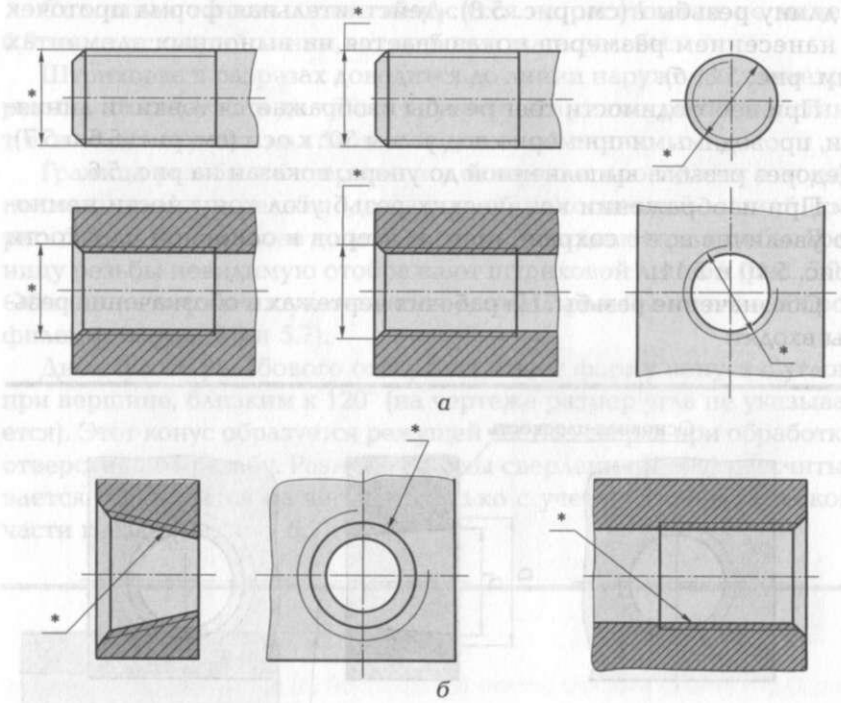


Рис. 5.12. Обозначение резьб:

а — наиболее используемых в машиностроении; *б* — конических и трубной цилиндрической

- Rc — трубная коническая внутренняя;
- K — коническая дюймовая и др.

В учебных условиях обозначение метрической резьбы с крупным шагом содержит только один определяющий размер — номинальный (наружный) диаметр, например, М20, а для метрической резьбы с мелким шагом, трапецеидальной, метрической конической и упорной указываются номинальный диаметр и шаг: М20 × 1,5; Tr40 × 6; MK20 × 1,5; S80 × 10.

В обозначение трубных и конической дюймовой резьб входит один условный размер в дюймах (1″ = 25,4 мм), например, G1½, R2, Rc2 и K1″. Этот размер не соответствует наружному диаметру резьбы, а приблизительно равен внутреннему диаметру трубы (условный проход), на которой нарезается резьба.

Если специальная резьба имеет стандартный профиль, но размеры диаметра или шага отличны от принятых по стандарту, то к обозначению резьбы добавляются буквы «Сп», например: СпМ64 × 5 — 6g.

Обозначения всех резьб, кроме конических и трубной цилиндрической, относятся к наружному диаметру (рис. 5.12, *а*). Обозначения конических и трубной цилиндрической резьб наносятся на полке линии-выноски, заканчивающейся стрелкой на основной линии (рис. 5.12, *б*).

5.2. РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Резьбовые соединения являются самыми распространенными и осуществляются крепежными деталями посредством резьбы. Все разновидности резьб, применяемых в соединениях, классифицируются по соответствующим признакам (рис. 5.13). Основными резьбовыми соединениями являются соединения болтами, винтами и шпильками (рис. 5.14). Соединения шпильками применяются в условиях частой разборки соединяемых деталей или при невозможности использовать крепление другого вида (из-за конструктивных особенностей соединений).

Резьбовые детали, изготавливаемые из пластичных материалов при действии статических нагрузок, рассчитываются на срез по осредненным касательным напряжениям τ, которые определяются как отношение срезающей силы к площади среза. Условие прочности можно выразить по формуле



Рис. 5.13. Классификация резьб

$$\tau = \left(Q_{ср}/F_{ср}\right) \le [\tau] = [\sigma]/2, \qquad (5.1)$$

где $Q_{ср}$ — усилие среза; $F_{ср}$ — площадь среза; $[\tau]$ — допускаемая величина касательных напряжений; $[\sigma]$ — допускаемая величина напряжения по текучести.

В резьбовых соединениях (рис. 5.15) расчет резьбы и головки болта на срез с учетом предыдущей зависимости проводится по следующим формулам:

- для резьбы болта

$$\tau = \left[Q_{ср}/\left(\pi d_1 K H K_н\right)\right] \le [\tau], \qquad (5.2)$$

где $\pi d_1 K H = F_{ср}$ — часть площади боковой поверхности цилиндра диаметром d_1 (внутренний диаметр резьбы гайки) и высотой H, по которой может произойти срез резьбы болта; K — коэффициент полноты резьбы, приблизительно равный для треугольной резьбы 0,87; $K_н$ — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по виткам резьбы и равный 0,55...0,75. Введение этого коэффициента обусловлено тем, что первые нитки резьбы, которые расположены ближе к детали, контактирующей с гайкой,

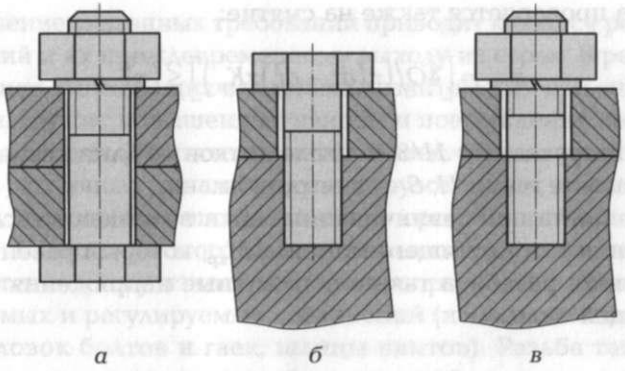


Рис. 5.14. Основные виды резьбовых соединений:
а — болтовое; *б* — винтовое; *в* — с помощью шпильки

воспринимают большую часть нагрузки, чем более удаленные от места контакта нитки резьбы;

- гайки

$$\tau = \left[Q_{ср}/\left(\pi dKHK_{н}\right)\right] \le [\tau], \qquad (5.3)$$

где $\pi dKH = F_{ср}$ — площадь боковой поверхности цилиндра диаметром d;

- головки болта

$$\tau = \frac{Q_{ср}}{\pi dh}, \qquad (5.4)$$

где $\pi dh = F_{ср}$ — площадь боковой поверхности цилиндра диаметром d и высотой h, по которой может произойти срез головки болта.

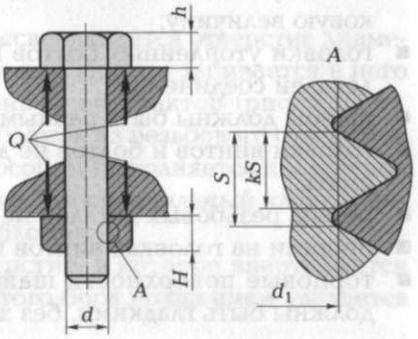


Рис. 5.15. Схема сил в болтовом соединении:
h — высота головки; H — высота гайки; d — диаметр болта; Q — сила нагрузки; d_1 — внутренний диаметр резьбы; S — шаг резьбы; kS — расстояние между одноименными точками ближайших витков резьбы

Резьба проверяется также на смятие:

$$\sigma_{см} = \left[4Q/\left(\pi\left(d^2 - d_1^2\right)zK_н\right)\right] \le [\sigma]_{см}, \qquad (5.5)$$

где Q — нагрузка; $z = H/S$ — число витков на длине свинчивания, равной высоте гайки H; S — шаг резьбы.

В теле болта при завинчивании гайки возникают касательные напряжения τ от крутящего момента $M_{кр}$, который равен моменту сил трения в резьбе, а также нормальные напряжения σ от растягивающей силы:

$$\sigma = 4Q/\left(\pi d_{ср}^2\right), \qquad (5.6)$$

где $d_{ср} = d - 0{,}94S$ — расчетный диаметр; d — наружный диаметр болта; S — шаг резьбы.

Условие прочности стержня болта определяется следующим выражением:

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 1{,}3\sigma \le [\sigma], \qquad (5.7)$$

где $\sigma_{экв}$ — эквивалентное напряжение.

При сборке резьбовых соединений необходимо соблюдать следующие требования:

- детали соединения должны быть точно пригнаны друг к другу;
- оси резьбовых деталей должны быть перпендикулярны плоскостям деталей соединения;
- размеры поперечного сечения и длина всех резьбовых деталей одного соединения должны быть одинаковыми;
- гайки, головки винтов и болтов в соединении должны иметь одинаковую высоту;
- концы резьбовых деталей должны выходить из гаек на одинаковую величину;
- головки утопленных болтов и винтов не должны выступать из деталей соединения;
- шайбы должны быть равными и не иметь перекоса;
- головки винтов и болтов не должны быть скручены, а их грани смяты;
- резьба резьбовых деталей не должна иметь сорванных ниток;
- прорези на головках винтов не должны быть смяты;
- торцовые поверхности шайб, гаек, головок винтов и болтов должны быть гладкими, без задиров и забоин.

Нарушение указанных требований приводит к износу резьбовых соединений и их преждевременному выходу из строя. В резьбовых соединениях, работающих в условиях значительных или знакопеременных нагрузок, повышенные износы и повреждения возникают из-за недостаточной затяжки винтов и гаек. При совместном воздействии различных динамических нагрузок винты и болты растягиваются, нарушаются шаг резьбы и ее профиль, гайки начинают «заедать». Следствием этого являются поломки деталей соединений. Более интенсивному износу подвержены резьбовые детали часто разбираемых и регулируемых соединений (изнашиваются резьбы, грани головок болтов и гаек, шлицы винтов). Резьба также разрушается от чрезмерных усилий затяжек гайки, винта или болта.

Износ резьбовых соединений проявляется в следующем:

- изменяется профиль резьбы по среднему диаметру, что приводит к увеличению зазора в соединении (наблюдается у часто отвертываемых винтов и болтов);
- сминаются под действием нагрузок рабочие поверхности профиля резьбы;
- удлиняется под действием осевых рабочих нагрузок и усилий затяжки стержень болта;
- изменяется шаг резьбы.

Поврежденные или изношенные крепежные винты и болты не ремонтируют, а заменяют новыми.

Ремонт соединения, в котором произошел обрыв шпильки или винта в глубине отверстия, осуществляется в зависимости от способа извлечения обломков крепежных деталей:

- кернер или тонкий бородок приставляется концом к верхней части обломка. Их наклоняют в направлении, противоположном заходу резьбы;
- затем постукиванием молотком по кернеру или бородку вывинчивается обломок. Перед этим в резьбовое отверстие следует закапать масло;
- в обломке винта или шпильки высверливается отверстие диаметром меньше диаметра шпильки или винта и забивается в него рифленый закаленный стержень — экстрактор (рис. 5.16, *а*), поворотом которого удаляется обломок из резьбового отверстия;
- в обломке электроискровым способом выполняется квадратное отверстие, в которое устанавливается специальный ключ, и посредством его вывертывается обломок;
- в обломке засверливается отверстие, в которое ввертывается бор (рис. 5.16, *б*). С помощью этого бора вращением удаляется обломок;

- к сломанному винту приваривается электрод и вывинчивается обломок;
- если базовая деталь изготовлена из алюминия, то для удаления обломка можно применять метод травления азотной кислотой, с которой алюминий взаимодействует слабо.

Резьбовые крепежные детали значительного диаметра с изношенной наружной резьбой ремонтируются различными способами:

- изношенная резьба срезается и (если это допускается условиями прочности) нарезается новая, обрабатывая ее до ближайшего стандартного диаметра;
- на деталь напрессовывается втулка или бандаж с выполненной резьбой.

Сорванная или изношенная резьба в отверстиях детали обычно не восстанавливается. В ряде случаев, например, в корпусных деталях, резьбовые отверстия восстанавливаются постановкой резьбовых спиральных вставок. Эти вставки представляют собой спиральную пружину, наружная поверхность которой образует резьбовое соединение с корпусом, а внутренняя — с болтом или шпилькой. Спиральные вставки изготавливаются из коррози-

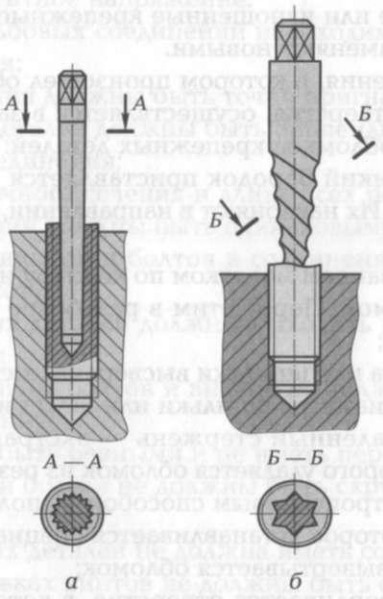


Рис. 5.16. Инструмент для извлечения сломанных шпилек:
а — экстрактор; *б* — бор

онно-стойкой проволоки, имеющей ромбическое сечение. При восстановлении резьбовых отверстий выполняются следующие операции:

- рассверливание отверстий с изношенной резьбой;
- нарезание резьбы под спиральную вставку;
- установка спиральной вставки в подготовленное отверстие;
- удаление технологического поводка с ввернутой спиральной вставки.

Имеются серийные комплекты, содержащие сверла, метчики и монтажный ключ для установки спиральной вставки, бородок для удаления технологического поводка и спиральные вставки различного размера.

Ремонт резьбовых отверстий выполняется следующим образом:

- отверстие просверливается на большую глубину (если это возможно) и заново нарезается в нем резьба;
- в углубленное отверстие ввертывается новый винт с удлиненной резьбовой частью;
- отверстие рассверливается, нарезается в нем новая резьба большего диаметра и ставятся новые винты с резьбой данного диаметра;
- отверстие для винта во второй соединяемой детали рассверливается.

При ремонте резьбовых соединений часто взамен старой изготавливается новая шпилька с уступом и резьбой двух диаметров (рис. 5.17, *а*): большего для завинчивания шпильки в одну из соединяемых деталей и меньшего для соединения со второй деталью и стягивания их гайкой.

При ремонте резьбовых отверстий в деталях различного служебного назначения рационально восстанавливать первоначальную (номинальную) резьбу: существующее (изношенное) резьбовое отверстие рассверливается, нарезается новая резьба, затем изготавливается переходная втулка (с наружной и внутренней резьбой, рассчитанной на нормальный винт), далее она устанавливается заподлицо с плоскостью детали и стопорится винтом (рис. 5.17, *б*). Переходная втулка изготавливается толстостенной и устанавливается на эпоксидный клей. Для этого (рис. 5.17, *в*) резьба в корпусе и на переходной втулке обезжиривается, наносится на сопряженные поверхности клей, и затем втулка ввинчивается в деталь заподлицо. После затвердевания эпоксидного клея образуется надежное соединение.

В ряде случаев изношенное резьбовое отверстие в детали заглушается или заваривается, сверлится рядом другое отверстие,

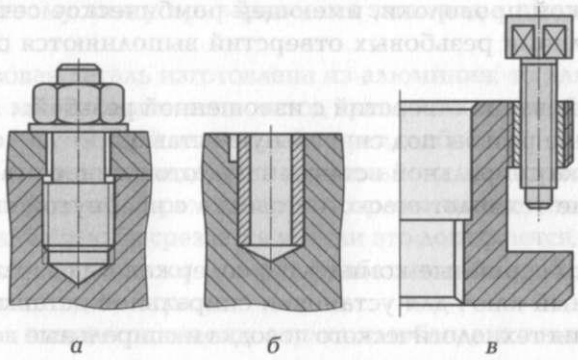


Рис. 5.17. Схемы ремонта резьбовых соединений посредством установки:

а — новой шпильки с уступом и резьбой двух диаметров; *б* — втулки с наружной и внутренней резьбой; *в* — втулки на клей

и нарезается в нем резьба заданного диаметра. Новое отверстие просверливается и во второй соединяемой детали.

При ремонте резьбовых соединений в процессе повторной установки шпилек могут возникнуть различные погрешности их расположения относительно сопрягаемых деталей. Появление этих погрешностей обусловлено рядом причин:

- отклонением от перпендикулярности оси шпильки плоскости соединяемых деталей. Это вызвано, как правило, погрешностью обработки отверстия под резьбу;
- несовпадением осей шпилек и отверстий, что часто встречается при сборке после ремонта групповых резьбовых соединений. Этот дефект происходит из-за перекоса резьбы шпильки или отверстия. Выправлять шпильку в этом случае не следует, так как это приводит к ее поломке. Шпильку нужно вывернуть и заново нарезать резьбу. При значительных перекосах можно, как исключение, рассверлить отверстие и нарезать новую, более точную резьбу большего диаметра;
- шпилька недовернута, т. е. ее выступающая часть длиннее, чем требуется, но дальше она в резьбовое отверстие не вворачивается. В этом случае шпильку следует вывернуть, а резьбу на шпильке и в резьбовом отверстии «прогнать» плашкой и метчиком. Если это не дает положительных результатов, то шпильку нужно заменить на другую с меньшим средним диаметром резьбы;

- шпилька ввернута слишком глубоко. В этом случае не допускается ее вывинчивание для достижения заданной длины выступающей части, так как это ослабляет посадку шпильки в резьбовом отверстии. Шпильку нужно вывернуть и заменить ее на другую с большим средним диаметром резьбы;
- шпилька находится в резьбовом отверстии недостаточно плотно, а при отвинчивании гайки она вывинчивается из гнезда. В данном случае шпильку нужно вывинтить и заменить на другую с большим средним диаметром резьбы.

После ремонта для сборки резьбовых соединений используется ручной и механизированный инструмент. Основным инструментом являются гаечные ключи. Надежность и долговечность эксплуатации резьбовых соединений во многом зависит от их правильной затяжки. Для каждого резьбового соединения моменты затяжки регламентированы. Требуемое усилие затяжки наиболее просто выдержать при использовании специальных крепежных деталей со встроенными индикаторами усилия затяжки. При затяжке выступы индикаторной шайбы *1* (рис. 5.18) упираются в обычную шайбу *2* и, расплющиваясь, заполняют зазор между шайбами. Это обеспечивает требуемое усилие затяжки при заполнении зазора.

При затяжке резьбовых соединений следует использовать ключи с регулируемым крутящим моментом (рис. 5.19). Такой ключ состоит из кулачка *1* и сменного торцевого ключа *5*. При предельном усилии шарик *4* отжимается кулачком, давит на тарелку *3* и сжимает пружину *2*. В этот момент сцепление кулачка с рукояткой прекращается. Величина крутящего момента регулируется изменением усилия пружины *2*.

При ремонте и последующей сборке неподвижных разъемных соединений важно обеспечить жесткость соединения. Это обеспечивается тем, что поверхности стыков сопрягаемых деталей

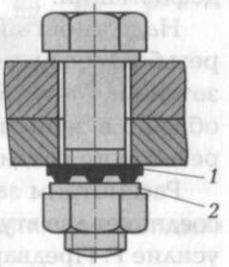


Рис. 5.18. Крепежная деталь с индикатором усилия затяжки:

1 — индикаторная шайба; *2* — обычная шайба

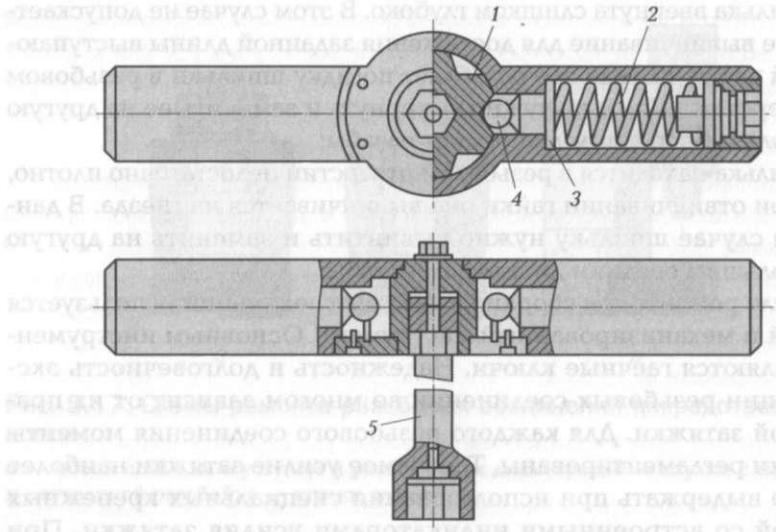


Рис. 5.19. Ключ с регулируемым крутящим моментом:
1 — кулачок; *2* — пружина; *3* — тарелка; *4* — шарик; *5* — сменный торцевой ключ

после ремонта резьбовых элементов подгоняются механической обработкой, используя строгание, фрезерование, шлифование, припиливание, шабрение и притирку.

Когда при ремонте нужно обеспечить полную герметичность (шпиндельные узлы, коробки скоростей, подач и другие детали, содержащие смазку), стыки сопрягаемых деталей уплотняются соответствующими прокладками, изготовленными из картона, бумаги, свинца, резины, клингерита и др. Чем точнее выполнены поверхности соединяемых деталей, тем выше жесткость соединения. При неточной пригонке в стыках пар сопрягаемых деталей появляются неравномерные зазоры, а при стягивании деталей болтами возникают напряжения, которые вызывают нежелательные их упругие деформации.

Надежность и долговечность послеремонтной эксплуатации резьбовых соединений во многом определяется правильностью их затяжки. Регламентируемые моменты затяжки устанавливаются обычно в зависимости от диаметра резьбы и материала деталей резьбового соединения.

Рассмотрим затянутое болтовое соединение (рис. 5.20, *а*). Болт соединяет две втулки, к каждой из которых приложено отрывающее усилие *P*. Предварительно болт затянут с усилием затяжки $Q_з$, обе-

спечивающим герметичность стыка. Усилие затяжки должно быть выбрано так, чтобы создавать герметичность стыка с определенным заносом, а также прочность резьбового соединения.

Для нахождения усилия, передаваемого на болт после затяжки с усилием $Q_з$ и приложения внешней отрывающей нагрузки P к втулкам, следует рассмотреть равновесие верхней втулки после затяжки, но до приложения силы P (рис. 5.20, *б*). В данном случае со стороны головки болта на втулку действуют распределенные усилия, равнодействующая которых равна $Q_з$. Со стороны нижней втулки также действует распределенная контактная равнодействующая сила $Q_з$, которая обеспечивает равновесие верхней втулки.

Давление со стороны головки болта на втулку увеличивается после приложения внешней силы P (рис. 5.20, *в*). Предположим, что эта добавочная сила пропорциональна P, т. е. равна αP, где α — коэффициент пропорциональности. В результате дополнительного удлинения болта на некоторую величину Δl (см. рис. 5.20, *а*) предварительная деформация сжатия втулок от силы $Q_з$ уменьшается на Δl. Давление в стыке уменьшается на величину x и будет равным $Q_з - x$. В результате на верхнюю втулку после приложения силы P будут действовать усилия, показанные на рис. 5.20, *в*. Так как втулка находится в состоянии равновесия, то сумма проекций всех сил на вертикальную ось должна быть равна нулю, т. е.

$$P + (Q_з - x)(Q_з + \alpha P) = 0. \qquad (5.8)$$

В данном случае имеется одно уравнение равновесия с двумя неизвестными (α и x), т. е. задача является статически неопределимой со степенью неопределимости, равной единице. Из предыдущего уравнения следует:

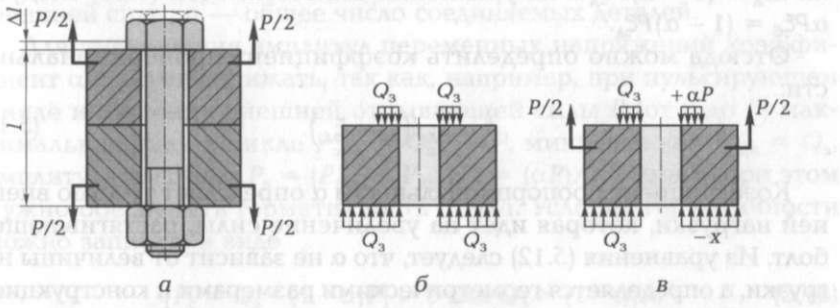


Рис. 5.20. Схемы к анализу распределения усилий в затянутом болтовом соединении (*а—в*) (пояснения приведены в тексте)

$$x = (1-\alpha)P. \quad (5.9)$$

Для решения статически неопределимой задачи нужно составить уравнения совместной деформации элементов системы, число которых равно степени статической неопределимости. В данном случае будет одно условие совместной деформации:

$$\Delta l = \Delta l_б = \Delta l_д, \quad (5.10)$$

где $\Delta l_б$ — дополнительное удлинение болта, обусловленное действием силы αP, передающейся на болт после приложения внешней нагрузки P; $\Delta l_д$ — уменьшение деформации сжатия соединяемых деталей после снижения сжимающей силы на величину $x = (1 - \alpha)P$.

Таким образом, после приложения внешней нагрузки P сила, которая растягивает болт, становится равной $Q_з + \alpha P$, и болт дополнительно удлиняется на величину $\Delta l_б = \Delta l$.

Соединяемые детали после затяжки болта оказываются сжатыми силой $Q_з$ и подвержены деформации сжатия. После приложения силы P сжимающая их сила становится равной $Q_з - (1 - \alpha)P$, а деформация сжатия уменьшается на величину $\Delta l_б = \Delta l$.

Условие совместимости (5.10) может быть раскрыто на основании закона Гука, согласно которому удлинение Δl цилиндрического стержня болта от растягивающей силы P рассчитывается по формуле

$$\Delta l = Pl/(EF) \text{ или } \Delta l = P\xi, \quad (5.11)$$

где $\xi = l/(EF)$ — податливость стержня болта, мм/Н; l — длина стержня, мм; F — площадь поперечного сечения стержня, мм; E — модуль упругости материала стержня.

Таким образом, для болта $\Delta l_б = \alpha P\xi_б$; для соединяемой детали $\Delta l_д = (1 - \alpha)P\xi_д$ и из уравнения совместимости (5.10) следует: $\alpha P\xi_б = (1 - \alpha)P\xi_д$.

Отсюда можно определить коэффициент пропорциональности:

$$\alpha = \xi_д/(\xi_б + \xi_д). \quad (5.12)$$

Коэффициент пропорциональности α определяет ту долю внешней нагрузки, которая идет на увеличение силы, растягивающей болт. Из уравнения (5.12) следует, что α не зависит от величины нагрузки, а определяется геометрическими размерами и конструкцией узла, а также модулями упругости болта и соединяемых деталей, в свою очередь определяющих значения податливости $\xi_д$ и $\xi_б$.

Податливость болта $\xi_б$ постоянного по длине сечения определяется формулой

$$\xi_б = l/(EF), \tag{5.13}$$

где $l = l_0 + H/2$; H — высота гайки, мм; l_0 — расстояние от торца гайки до торца головки болта, мм.

Слагаемое $H/2$ учитывает податливость болта. Если болт имеет по длине ряд n участков длиной l_i и площадью F_i, то в этом случае податливости ξ_i отдельных его участков суммируются:

$$\xi_б = \sum_{i=1}^{n}\left[l_i/(EF_i)\right]. \tag{5.14}$$

Податливость соединяемых деталей в простом случае (см. рис. 5.20) определяется по аналогичной формуле при одинаковых модулях упругости: $\xi_д = l/(E_д F_д)$. В сложных конструкциях податливости деталей определяются по приближенным формулам, которые получаются заменой деталей конусами давлений, по эмпирическим формулам или числовыми расчетами с использованием методов конечных элементов.

Если в резьбовом соединении болтом стягивается значительное число деталей, то коэффициент пропорциональности α определяют по формуле

$$\alpha = \sum_{i=j}^{n}\xi_i \Bigg/ \left(\sum_{i=0}^{n}\xi_i\right), \tag{5.15}$$

где j — число деталей соединения, испытывающих увеличение нагрузки при приложении внешней силы; $n - j$ — число деталей прокладки, испытывающих уменьшение нагрузки при приложении внешней силы; n — общее число соединяемых деталей.

Для уменьшения амплитуд переменных напряжений коэффициент α следует понижать, так как, например, при пульсирующем цикле изменения внешней отрывающей силы P (от 0 до P) максимальная сила в цикле $P_{max} = Q_з + \alpha P$, минимальная $P_{min} = Q_з$, амплитуда нагрузки $P_a = (P_{max} + P_{min})/2 = (\alpha P)/2$. Однако, при этом нужно обеспечить герметичность стыка. Условие герметичности можно записать в виде

$$[P_c = Q_з - (1 - \alpha)P] > 0 \text{ или } Q_з > (1 - \alpha)P, \tag{5.16}$$

где P_c — давление на стыке после приложения силы P.

Обычно вводится некоторый запас, который определяется коэффициентом затяжки $K_з$:

$$Q_з = K_з(1-\alpha)P. \qquad (5.17)$$

Коэффициент затяжки $K_з$ выбирают в пределах 1,5...4 для внешней переменной нагрузки.

Согласно выражению (5.15) снижение коэффициента α можно обеспечить, уменьшая податливости деталей прокладки или увеличивая податливости деталей системы болта, входящие в сумму, стоящую в знаменателе. Обычно $\alpha = 0{,}2...0{,}3$.

В затянутом резьбовом соединении усилия по виткам резьбы распределены неравномерно, кроме того, из-за небольших радиусов закруглений на дне впадин резьбы высока концентрация напряжений. В соединении болта с гайкой стандартной формы последняя работает на сжатие (рис. 5.21, *а*). На первый виток резьбы, который находится у торца гайки, приходится максимальная нагрузка, составляющая более 30 % полной нагрузки. При этом витки резьбы у свободного торца гайки мало нагружены. Например, если по высоте гайки имеется 10 витков резьбы, то при равномерном распределении нагрузки на каждый из них должно было бы приходиться $0{,}1P_б$, где $P_б$ — осевая нагрузка на болт. Из-за неравномерности на первый виток приходится примерно $0{,}3P_б$, т.е. коэффициент концентрации нагрузки $\beta_н = 0{,}3$, что приводит к значительному снижению сопротивления усталости соединения. Помимо того, у дна впадин резьбы образуется высокая концентрация напряжений. Это вызывает дополнительное значительное снижение сопротивления усталости соединения.

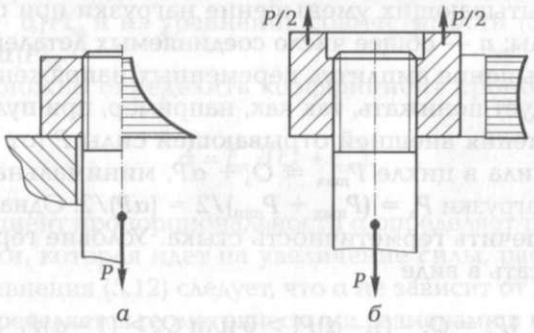


Рис. 5.21. Распределение усилий по виткам резьбы:
а — гайка сжатия; *б* — гайка растяжения

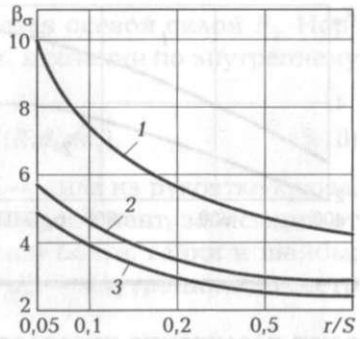


Рис. 5.22. Теоретические коэффициенты концентрации β_σ для резьбовых соединений:

1 — во впадине первого рабочего витка (находящегося в контакте с гайкой); *2* — во впадине свободной резьбы; *3* — в головке болта

На рис. 5.22 показана зависимость теоретических коэффициентов концентрации напряжений β_σ от отношения радиуса закругления r на дне впадины к шагу S резьбы. Концентрация напряжений β_σ во впадине первого рабочего витка резьбы, который находится в контакте с гайкой, высокая из-за неравномерности распределения усилий по виткам и изменяется в диапазоне 4...10 (кривая *1*). Для свободной части резьбы болта, которая находится вне контакта с гайкой, величина β_σ изменяется в пределах 2,5...5 (кривая *2*).

Резьбовые соединения стандартной конструкции из-за неравномерности распределения усилий по виткам характеризуются очень значительной концентрацией напряжений во впадине первого рабочего витка (β_σ = 4...10), но ее можно уменьшить, изменяя конструкцию гайки. Так, при использовании гайки, работающей на растяжение (см. рис. 5.21, *б*), нагрузка по виткам распределяется более равномерно. Конструктивные варианты реализации этой схемы, а также повышение пределов выносливости благодаря конструктивному упрочнению, характеризуемое эффективным коэффициентом K_σ, даны на рис. 5.23. Варианты *а* и *б* обеспечи-

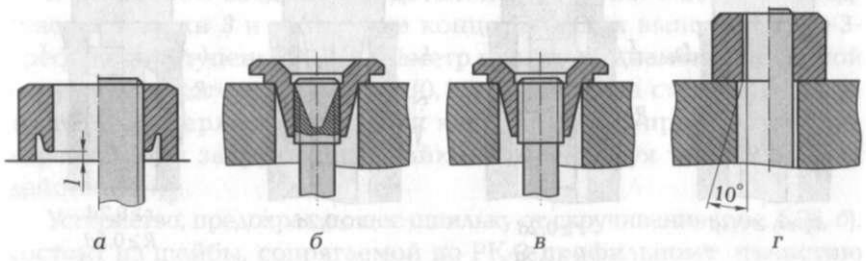


Рис. 5.23. Конструкция гаек с более равномерным распределением нагрузки по виткам:

а — K_σ =1,6; *б* — K_σ = 1,65; *в* — K_σ = 1,4; *г* — K_σ = 1,2

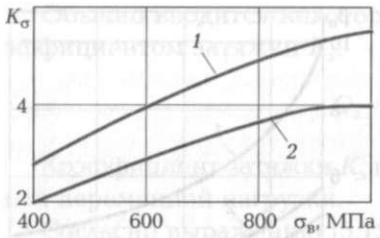


Рис. 5.24. Значение коэффициентов K_σ для затянутых болтовых соединений при растяжении-сжатии:

1 — метрическая резьба; *2* — дюймовая резьба

вают повышение пределов выносливости затянутого болтового соединения на 60...65 %. Коэффициенты K_σ для болтовых затянутых соединений стандартного типа приведены на рис. 5.24.

Предельные амплитуды напряжений затянутых резьбовых соединений зависят от многих конструктивных и технологических факторов: радиуса закругления во впадине резьбы; угла профиля резьбы; величины зазора; высоты, конструкции и материала гайки; способа изготовления и упрочнения резьбы и др. Так, увеличение отношения r/S в пределах 0...0,4 приводит к росту предельной амплитуды от 45 до 90 МПа (резьба М10×0,75, сталь 38ХА). Значительное влияние оказывает угол профиля резьбы.

Для уменьшения концентрации напряжений около головки болта можно использовать их улучшенные конструкции (рис. 5.25).

Если в процессе выполнения ремонта узлов и агрегатов необходимо внесение конструктивных изменений, требующих использования болтов и шпилек уменьшенных диаметров, могут быть применены устройства с равноосным контуром (РК-3, где 3 — число граней профиля).

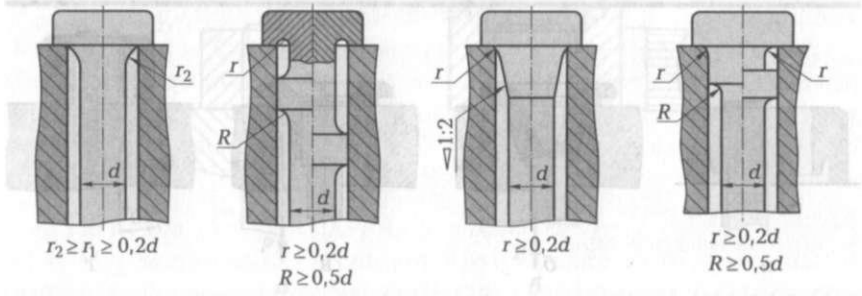


Рис. 5.25. Конструкции головок болтов с уменьшенной концентрацией напряжений

При затяжке тело болта растягивается осевой силой F_0. Нормальные растягивающие напряжения σ_0 в сечении по внутреннему диаметру d_0 резьбы равны

$$\sigma_0 = 4F_0/(\pi d_1) = P_к L_к/(R_к d_н \pi d_в), \qquad (5.18)$$

где d_1 — диаметр РК-3 профиля, мм; $P_к$ — сила на рукоятке ключа, Н; $L_к$ — длина плеча ключа, мм; $R_к$ — коэффициент, зависящий от состояния поверхности (вида покрытия) болта, гайки и шайбы; $d_н$ — наружный диаметр резьбы, мм; $d_в$ — внутренний диаметр резьбы, мм.

Из-за трения в соприкасающихся витках резьбы болта и гайки, а также подъема резьбы тело болта (шпильки) нагружено также крутящим моментом $M_{кр}$. Максимальные касательные напряжения τ_0 в сечении по внутреннему диаметру $d_в$ резьбы:

$$\tau_0 = M_{кр}/(0{,}2d_в). \qquad (5.19)$$

Значение τ_0 составляет $(0{,}3...0{,}5)\sigma_0$. Приведенное (эквивалентное) напряжение определяется по формуле

$$\sigma_{экв} = \sqrt{s_0 + 3\tau_0} \approx (1{,}1...1{,}3)\sigma_0. \qquad (5.20)$$

Для предотвращения скручивания болта (шпильки) должно соблюдаться условие $\sigma_{экв} < 0{,}8\sigma_т$, где $\sigma_т$ — предел текучести материала болта.

При уменьшенных диаметрах болта (шпильки) необходимо освобождать его стержень от действия крутящего момента $M_{кр}$, так как напряжение затяжки σ_0 может превысить временное сопротивление болтов (шпилек). Во избежание этого применяются различные конструктивные способы разгрузки резьбовых соединений. Рациональным является использование РК-профильных устройств.

В резьбовом соединении деталей *1* и *2* (рис. 5.26, *а*) посредством шпильки *3* и гайки *4* на конце шпильки выполнена РК-3-профильная ступень ($D_{рк}$ — диаметр профиля), диаметр описанной окружности которой $d_1 = d_в - (0{,}1...0{,}2)$ мм. Эта ступень используется для удержания шпильки ключом с РК-3-профильным отверстием при закручивании гайки, компенсируя таким образом действие $M_{кр}$.

Устройство, предохраняющее шпильку от скручивания (рис. 5.26, *б*), состоит из шайбы, сопрягаемой по РК-3-профильному отверстию с РК-3-профильной ступенью, которая выполнена на шпильке *3*, а также штифта *5*, фиксирующего шайбу от проворота. В этом случае диаметр вписанной окружности РК-3-профиля $d_1 = d_в + (0{,}1...0{,}2)$ мм.

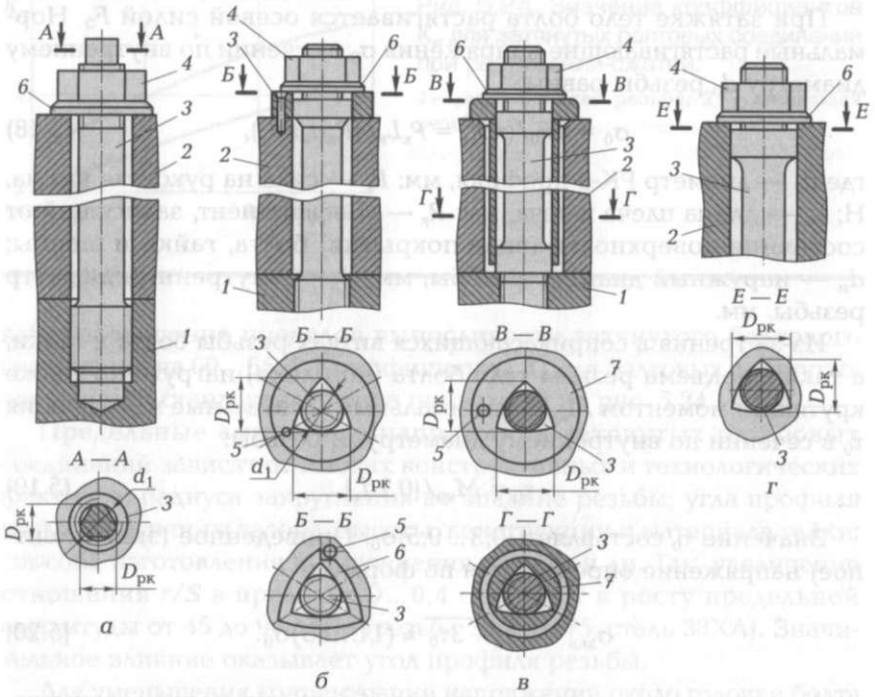


Рис. 5.26. РК-3-профильные устройства, разгружающие резьбовые соединения от действия крутящего момента:

а — шпилька с РК-3-профильной ступенью; *б* — шпилька с предохраняющим ее от скручивания устройством; *в* — шпилька с устройством от скручивания и РК-3-профильными отверстиями; *г* — шпилька с непосредственно сопряженными РК-3-профильными ступенями и отверстием; *1* и *2* — детали; *3* — шпилька (болт); *4* — гайка; *5* и *8* — штифты; *6* — шайба; *7* — втулка

Шайба *6* может быть круглой, профильной, с мысками или другого конструктивного исполнения.

Аналогичное устройство (рис. 5.26, *в*) включает в себя втулку *7* с круглой наружной поверхностью и с РК-3-профильным отверстием, которое сопрягается с двумя РК-3-профильными ступенями шпильки *3*. Диаметр РК-3-профиля $d_1 = d_в + (0{,}1 \ldots 0{,}2)$ мм. Втулка *7* зафиксирована относительно детали *2* штифтом *8*. Скручивание шпильки *3* может быть предотвращено благодаря непосредственному сопряжению, выполненному на конце шпильки *3* РК-3-профильной ступени с РК-3-профильным отверстием детали *2* (рис. 5.26, *г*).

В рассмотренных конструкциях после снятия ключа с гайки *4* стержень шпильки (болта) *3* будет закручен вследствие воздействия сил трения на торце гайки. При воздействии в процессе работы

резьбового соединения циклических нагрузок касательные напряжения постепенно исчезают.

В практике наиболее распространен способ усилия затяжки с применением предельных и динамометрических ключей.

Наибольшее влияние на точность усилия затяжки имеет коэффициент трения в резьбовом соединении и на торцевой поверхности гайки. Его значение определяется качеством поверхности трущихся элементов, классом точности резьбы, смазочным материалом и другими факторами. В зависимости от совокупного действия указанных факторов коэффициент трения может изменяться в широком диапазоне: 0,2...0,4 — для резьбы и 0,08...0,12 — для торцевой поверхности гайки. В этих случаях предельные и динамометрические ключи не обеспечивают точности усилия затяжки.

Затяжку резьбового соединения можно проконтролировать измерением удлинения болта (шпильки) микрометром или индикатором. Микрометром измеряется длина резьбовой детали до и после затяжки соединения: удлинение болта (шпильки) измеряется индикатором с помощью контрольного штифта, который устанавливается в специально выполненном отверстии в болте.

Оснащение ремонтного производства различными гайко- и винтозавертывающими машинами и устройствами (с электрическим и пневматическим приводами) позволяет значительно (в 2—3 раза) повысить производительность труда, а также точность затяжки резьбовых соединений.

Гайковерты с ударно-импульсными муфтами передают крутящий момент посредством ударных импульсов, сообщаемых ведомой полумуфте. При работе таких гайковертов практически отсутствует реактивный момент. Это дает возможность использовать их при послеремонтной сборке крупногабаритных резьбовых соединений.

Применение в гайковертах предельных муфт (рис. 5.27) позволяет осуществлять затяжку резьбового соединения с заданным усилием. Предельная муфта является кулачковой, одна из полумуфт *1* которой служит якорем. В корпусе *3* гайковерта смонтирован индуктивный датчик *2*. Величина зазора *а* между датчиком и якорем регулируют поворотом датчика в пазах корпуса. По достижении заданного крутящего момента полумуфта кулачковой муфты получит осевое смещение, и зазор *а* увеличится. При этом индуктивный датчик отрабатывает сигнал на остановку гайковерта.

Для затяжки резьбовых соединений диаметром 12...16 мм наряду с электрическими применяются пневматические гайковерты, имеющие меньшие габаритные размеры и массу, однако их КПД ниже.

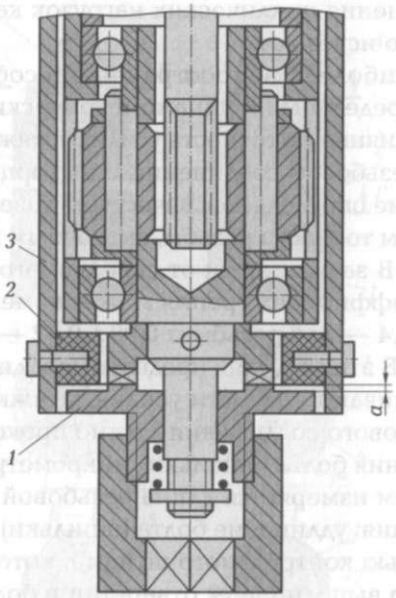


Рис. 5.27. Предельная муфта гайковерта:

1 — полумуфта; *2* — индуктивный датчик; *3* — корпус, *a* — зазор между датчиком и якорем

Специальное приспособление для затяжки круглых гаек (рис. 5.28) состоит из подвижной обоймы *3* и неподвижной траверсы *1* с установленными на них двумя гидроцилиндрами *4*. Устройство монтируется на навернутую и предварительно затянутую гайку *11* и центрируется винтами *2*. Зубчатая поверхность упоров *8* (*9* — ось упора) устанавливается на обойме *3*, подводится к гайке *11* и фиксируется винтами *10*. Масло под давлением 20 МПа подается от насосной станции *7* в штоковую полость цилиндров *4*. В результате этого происходит поворот обоймы. При этом упоры *8* поворачиваются вокруг оси и вращают гайку *11* в направлении, противоположном направлению вращения обоймы *3*. Усилие затяжки гайки контролируется по манометру *6*. После затяжки штоки цилиндров возвращаются в исходное положение посредством золотникового распределителя *5*. При этом обоймы *3* разворачиваются, и упоры *8* освобождаются.

При установке значительного числа шпилек используется электрический, пневматический или механизированный ручной инструмент (рис. 5.29). На шпильку навинчивается сменная гайка *1*.

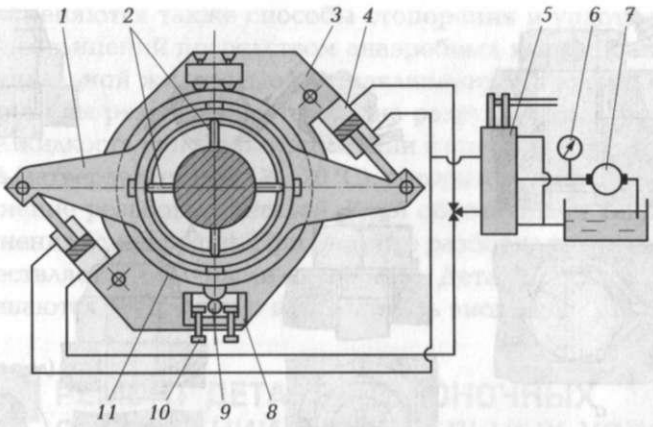


Рис. 5.28. Приспособление для затяжки круглых гаек:

1 — траверса; *2* и *10* — винты; *3* — обойма; *4* — гидроцилиндр; *5* — золотниковый распределитель; *6* — манометр; *7* — насосная станция; *8* — упор; *9* — ось упора; *11* — гайка

Шпильковерт надевается на гайку так, чтобы шарик *2* касался ее. При ввертывании шпильки шарик *2* поднимается вверх до упора в пяту *3*, а при контакте с ней начинает пробуксовывать. В этом случае осуществляется реверс шпильковерта. Хвостовик *4* предназначен для соединения шпильковерта с электрическим или пневматическим механизмом, создающим крутящий момент. Наличие на хвостовике шпильковерта шести граней позволяет выполнять ручное завинчивание шпилек.

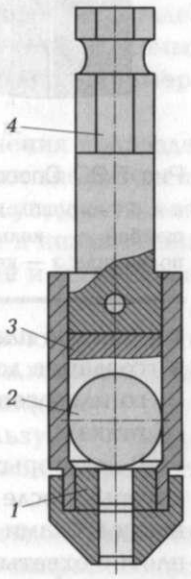


Рис. 5.29. Инструмент для завинчивания шпилек:

1 — гайка; *2* — шарик; *3* — пята; *4* — хвостовик

Долговечность и надежность послеремонтной эксплуатации резьбовых соединений зависят также от их правильного стопорения, которое предупреждает самоотвинчивание элементов. Наиболее часто применяются следующие способы стопорения (рис. 5.30):

- взаимная фиксация относительного положения болта и гайки (стопорение проволокой, шплинтованием, пружинными и деформируемыми шайбами);

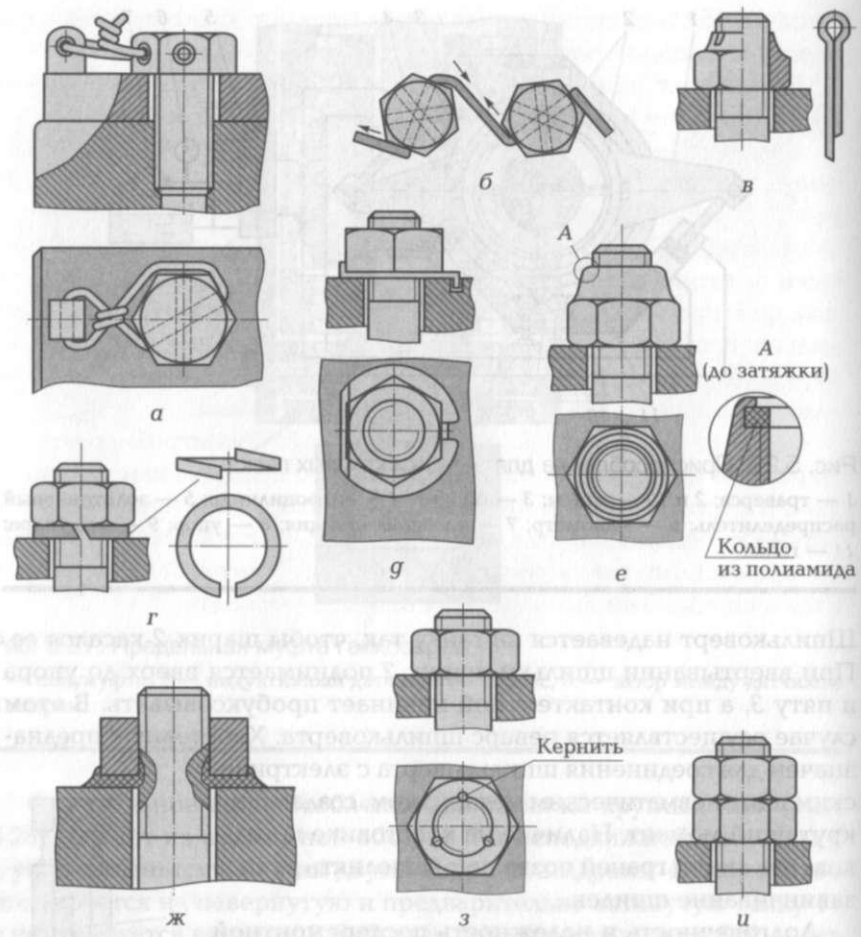


Рис. 5.30. Способы стопорения резьбовых соединений:

а и *б* — проволокой; *в* — шплинтом; *г* — гроверной шайбой; *д* — специальной шайбой; *е* — кольцом из полиамида с последующей опрессовкой; *ж* — шайбой из полиамида; *з* — кернением; *и* — контргайкой

- местное пластическое деформирование (кернение и обжатие);
- создание дополнительных сил трения посредством радиального или осевого давления (винт, контргайка и самотормозящая гайка).

В некоторых случаях используются обжимные гайки с буртиком, которые после затяжки обжимают специальным ключом с закаленными губками таким образом, чтобы металл резьбовой части гайки плотно охватывал резьбу болта.

Применяются также способы стопорения и уплотнения резьбовых соединений посредством анаэробных клеев. Мини-капсула со специальной жидкостью устанавливается в резьбу. В процессе свинчивания резьбовых деталей она разрушается, а вытекающая из нее жидкость при соприкосновении с атмосферой превращается в клей (затвердевает при 18... 20 °С), который обеспечивает прочное соединение резьбовых деталей. Клей обеспечивает также защиту соединения от коррозии. При ремонте разборка таких соединений осуществляется обычными способами. Детали после разборки не разрушаются, и их можно использовать вновь.

5.3. РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

Шпоночные соединения служат для подачи крутящего момента от вала к ступице зубчатого колеса, шкива, втулки и других подобных, смонтированных на нем деталей, и наоборот, от этих деталей — к валу. Соединительной деталью является шпонка. Шпонки также фиксируют на валу детали в осевом положении. Основные типы шпонок и их размеры стандартизированы. Шпоночные соединения (рис. 5.31) отличаются простотой, удобством сборки, разборки и ремонта. Главным их недостатком является ослабление из-за наличия шпоночных пазов сечения деталей и уменьшение жесткости при кручении. Это часто приводит к разрушению деталей соединения. Сечения шпонок и шпоночных пазов в сопрягаемых деталях подбираются в зависимости от диаметрального размера вала и характера сопряжения.

По условиям эксплуатации шпоночные соединения подразделяются на напряженные, в которых при отсутствии внешних сил и моментов постоянно действуют внутренние силы упругости, возникающие в результате предварительной затяжки, и ненапряженные. Для последних применяются призматические и сегментные шпонки, которые работают боковыми гранями.

Призматические шпонки (рис. 5.31, *а*) выполняются обыкновенными, высокими со скругленными или плоскими концами. Они служат для неподвижного соединения вала со ступицей.

Направляющие шпонки (рис. 5.31, *б*) используются, когда ступица должна перемещаться вдоль вала. Эти шпонки крепятся к валу винтами.

Скользящие шпонки (рис. 5.31, *в*) перемещаются вдоль вала вместе со ступицей. Эти шпонки применяются вместо направляющих

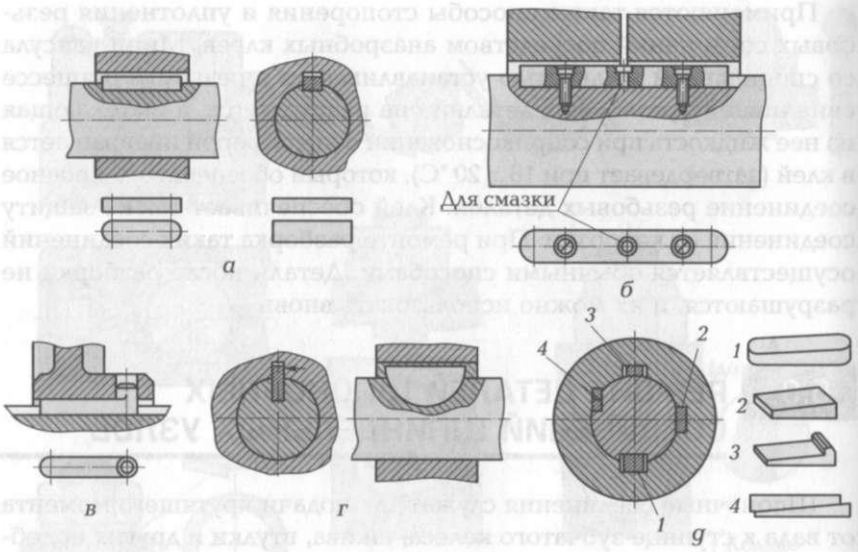


Рис. 5.31. Конструкция шпонок:

а — призматической; *б* — направляющей; *в* — скользящей; *г* — сегментной; *д* — клиновой: *1* — врезная; *2* — на лыске; *3* — фрикционная; *4* — тангенциальная

(см. рис. 5.31, *б*) шпонок, когда нужно обеспечить значительное перемещение ступицы вдоль вала. Скольжение шпонки сопрягается со ступицей посредством цилиндрического выступа.

Сегментные шпонки (рис. 5.31, *г*) используются только для передачи сравнительно небольших крутящих моментов. При необходимости по длине вала могут быть установлены две, а иногда и три такие шпонки. Достоинством сегментных шпонок является легкость изготовления их самих, а также пазов под них, а недостатком — необходимость выполнения глубоких пазов в валах, что снижает их прочность.

Клиновые шпонки с уклоном 1:100 (рис. 5.31, *д*) в совокупности с валом и втулкой образуют напряженные шпоночные соединения. В эту группу входят четыре вида шпонок: врезные, на лыске, фрикционные и тангенциальные.

Врезные шпонки имеют в поперечном сечении форму прямоугольника. Эти шпонки устанавливаются в пазы, выполненные в ступице и валу. Врезные шпонки обеспечивают надежное соединение и передачу значительных по величине крутящих моментов, однако паз уменьшает прочность вала на 6...10 %.

Шпонки на лыске монтируются на специальную площадку, которая выполняется на валу. Лыска ослабляет прочность вала незначительно. Однако такие шпонки хуже сопрягают деталь с валом, чем врезные.

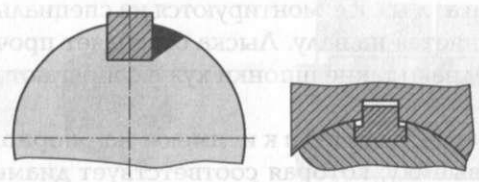
Фрикционные шпонки имеют на опорной поверхности сферическую выемку, которая соответствует диаметру вала. При использовании таких шпонок прочность вала не уменьшается. Однако эти шпонки не могут передавать значительные по величине крутящие моменты, поэтому они применяются в основном в приборостроении.

Тангенциальные шпонки состоят из двух клиньев, которые устанавливаются навстречу друг другу в канавку вала вдоль его образующей. Такие шпонки обеспечивают передачу крутящего момента только в одну сторону. При необходимости реверсирования используются две шпонки под углом 120°, передающие значительные по величине крутящие моменты, но уменьшающие прочность вала.

Призматические шпонки передают крутящий момент боковыми гранями, поэтому запрессовываются с гарантированным потягом по боковым сторонам канавки. Направляющие (призматические) шпонки устанавливаются по более свободной посадке. Клиновые шпонки запрессовываются между сопрягаемыми деталями. Сложность пригонки таких шпонок заключается в том, что угол наклона паза установленной на вал детали должен совпадать с углом наклона шпонки. Пригонка осуществляется припиливанием и пришабриванием по месту с проверкой «на краску».

В процессе эксплуатации детали шпоночных соединений под действием динамических нагрузок изнашиваются. Одной из основных причин, вызывающих нарушение правильности распределения нагрузки и смятия шпонки, является увеличение зазора в соединении. К смятию приводит также неправильное расположение шпоночного паза на валу. Перекос осей пазов вызывает перекос охватывающей детали на валу и изнашивание деталей соединения.

Для восстановления шпоночных пазов применяются различные способы. При значительном износе шпоночные пазы ремонтируются посредством наплавки грани (рис. 5.32, *а*) с последующим фрезерованием. При данной обработке необходимо выдерживать размеры паза, регламентируемые стандартом. Для ремонта деталей шпоночных соединений может быть использована вибродуговая наплавка, основным достоинством которой является низкая температура нагрева деталей (не выше 90 ... 100 °С). Такой нагрев не вызывает деформации и снижения твердости соседних закаленных участков



а *б*

Рис. 5.32. Ремонт шпоночных пазов:
а — наплавкой грани; *б* — установкой ступенчатой шпонки

ремонтируемых деталей. Можно наращивать слой металла толщиной до 4 мм. В процессе наплавки электроду сообщаются колебания с частотой 50...100 Гц и амплитудой до 4 мм, а в зону дуги подается охлаждающая жидкость (5%-ный раствор кальцинированной соды). Она уменьшает тепловое воздействие дуги на ремонтируемую деталь и увеличивает скорость охлаждения основного и наплавленного металла. При этом уменьшаются деформации и смягчается эффект самоотпуска соседних с ремонтируемым участков детали. Охлаждающая жидкость служит также защитой расплавленного металла от вредного воздействия кислорода и азота.

Ремонт деталей шпоночных соединений выполняется на токарном станке, на суппорт которого устанавливается виброголовка, получающая продольную или поперечную подачу (рис. 5.33). Электрический ток подводится к ремонтируемой детали и к электроду, который подается с барабана роликами. Деталь закрепляется в центрах или в патроне. В результате вибраций электрода посредством пружинно-электромагнитного устройства происходят замыкание и разрыв электрической цепи в зоне контакта электрода с поверхностью детали. Вследствие большой плотности тока (до 400 А/мм^2) при касании электрода детали зона контакта оплавляется, а электрод оставляет на поверхности детали часть расплавленного металла. Процесс повторяется с заданной частотой вибрации. При наплавке вибрация электрода уменьшает глубину основного металла и увеличивает коэффициент расплавления электрода. Вследствие этого снижаются потери металла и расход электроэнергии. В процессе вибродуговой наплавки ремонтируемые детали намагничиваются, поэтому после восстановления их нужно размагничивать. Благодаря вибрациям процесс наплавки может быть осуществлен при низком напряжении (12...18 В). Угол подвода электродной проволоки к детали составляет 15...30°. Скорость подачи электрода не должна превышать 1,65 м/мин, а скорость наплавки — 0,5...0,65 м/мин.

Структура и твердость наплавленного слоя зависят от химического состава электродной проволоки и количества охлаждающей жидкости. При наплавке проволокой марки Нп-80 (с содержанием углерода 0,75...0,85 %) наплавляемый валик закаляется в охлаждающейся жидкости до высокой твердости и частично отпускается. При этом образуется неоднородная структура от мартенсита закалки до тростосорбита отпуска твердостью 25...55 $HRC_э$. При наплавке низкоуглеродистой проволокой марки Св-08 получается твердость поверхности наплавки 14...19 $HRC_э$.

Технологическая последовательность вибродуговой наплавки изношенной грани шпоночного паза следующая:

- устранение механической обработкой глубоких рисок и задиров, вызванных износом;
- подготовка детали к наплавке (очистка, промывка и обезжиривание);
- наплавка (при необходимости в несколько проходов);
- размагничивание детали;
- контроль детали для определения припусков на механическую обработку.

Все шпоночные пазы и отверстия в целях их сохранения заделываются графитовыми или медными вставками так, чтобы они

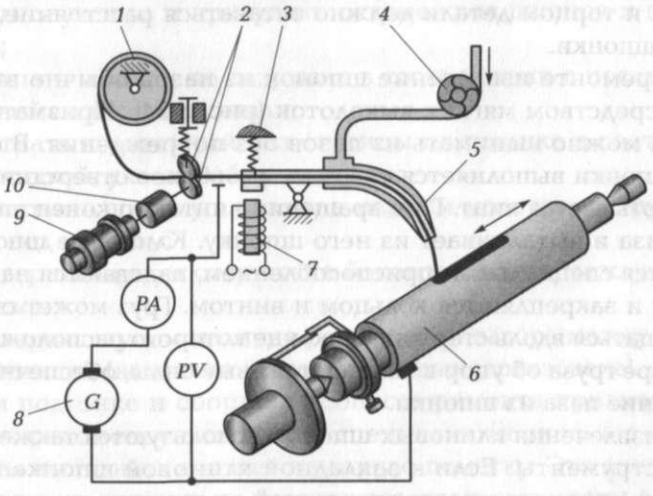


Рис. 5.33. Схема вибродуговой наплавки:

1 — барабан с электродной проволокой; *2* — подающие ролики; *3* — пружина; *4* — насос; *5* — направляющий наконечник; *6* — ремонтируемая деталь; *7* — электромагнит; *8* — генератор; *9* — двигатель; *10* — редуктор

выступали над поверхностью на величину, превышающую толщину наплавленного слоя. Это позволяет легко их удалить после наплавки. Поверхности, не подлежащие наплавке, закрываются мокрым асбестом.

Для восстановления шпоночных пазов возможно применение такого вида ремонта: изношенный паз посредством фрезерования расширяется и углубляется, полностью устраняя последствия износа; изготавливается специальная ступенчатая шпонка (см. рис. 5.32, *б*). Однако данный ремонт не обеспечивает высокой точности и качества соединения, поэтому он используется в исключительных случаях (при технических осмотрах и текущих ремонтах). Если на чертеже детали отсутствуют указания о фиксированном положении шпоночного паза, то допускается его изготовление заново на другом месте (не более одного на поперечном сечении) без заделки изношенного паза. Новый паз выполняется параллельно последнему в диаметральной плоскости под углом к изношенному пазу, равным 90; 135 или 180°.

При ремонте деталей шпоночных соединений изношенные шпонки не ремонтируются, а изготавливаются новые. Исключения составляют клиновые шпонки: они запрессовываются в паз ударом молотка через мягкую прокладку так, чтобы они заклинивались по высоте. Кроме того, клиновые шпонки нужно устанавливать, чтобы при ослаблении их можно было осаживать. Между головкой шпонки и торцом детали должно оставаться расстояние, равное высоте шпонки.

При ремонте извлечение шпонок из пазов обычно выполняется посредством мягких выколоток (рис. 5.34). Призматические шпонки можно вынимать из пазов без повреждения. В средней части шпонки выполняется сквозное резьбовое отверстие, в которое ввертывается винт. При вращении винта его конец упирается в дно паза и выталкивает из него шпонку. Клиновые шпонки извлекаются специальным приспособлением, надеваются на головку шпонки и закрепляются кольцом и винтом. Груз может свободно перемещаться вдоль стержня, на конце которого расположен упор. При ударе груза об упор возникают осевые силы, обеспечивающие извлечение паза из шпонки.

Для извлечения клиновых шпонок используются также рычажные инструменты. Если к закладной клиновой шпонке имеется доступ со стороны, противоположной ее головке, то шпонка выталкивается специальной выколоткой. При извлечении клиновых шпонок запрещается применять молоток и зубило. Забивание зубила между головкой шпонки и ступицей приводит к искривлению

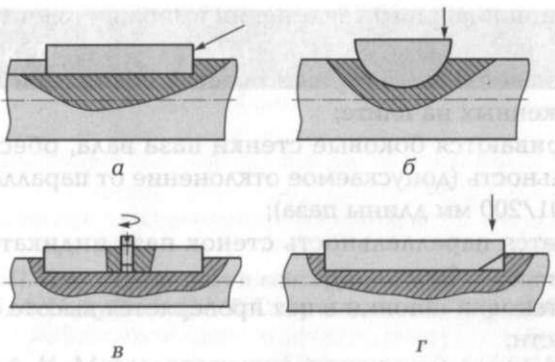


Рис. 5.34. Способы извлечения шпонок из пазов:

а и *б* — нанесением удара при извлечении призматических и сегментных шпонок (стрелками показано направление удара); *в* — посредством винта; *г* — с помощью приспособления для извлечения клиновых шпонок; *д* — выполнением скоса на шпонке

шпонки, порче торцевой поверхности ступицы, а в ряде случаев — и к деформации вала.

После ремонта сборку соединений с призматическими шпонками необходимо осуществлять в такой последовательности:

- снять заусенцы и притупить острые края шпонок и пазов под них;
- пригнать шпонку по пазу вала в соответствии с посадкой, указанной на чертеже детали;
- пригнать шпоночный паз ступицы по шпонке в соответствии с посадкой, указанной на чертеже;
- установить шпонку в паз вала медным молотком, струбцинами или под прессом;
- проверить щупом отсутствие бокового зазора между шпонкой и пазом;
- проверить щупом наличие радиального зазора между шпонкой и ступицей (величина этого зазора стандартизована).

При подгонке и сборке в процессе ремонта призматических шпонок рекомендуется делать специальный скос, а с обратной стороны выполнять соответствующую пометку. Это дает возможность извлечь шпонку из паза посредством выколотки и молотка: выколотку упирают в помеченный конец шпонки со стороны скоса и ударяют по ней молотком; с этой стороны конец шпонки прижимают к основанию, а с противоположной — приподнимают.

Пригонка шпоночного соединения выполняется в такой последовательности:

- устанавливается вал в горизонтальном положении на призмах, расположенных на плите;
- пришабриваются боковые стенки паза вала, обеспечивая их параллельность (допускаемое отклонение от параллельности не более 0,01/200 мм длины паза);
- проверяется параллельность стенок паза индикатором, а его ширина — калибром;
- после установки шпонки в паз проверяется высота ее выступающей части;
- индикатором контролируется взаимное расположение шпонок на валу.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое резьба и как она образуется?
2. Каковы основные параметры и элементы резьбы?
3. Что такое сбег резьбы?
4. В чем разница между шагом и ходом резьбы?
5. Каково назначение фаски на стержне и в отверстии?
6. Как условно изображают резьбу на стержне и в отверстии?
7. Как изображают на чертеже резьбу с нестандартным профилем?
8. Из чего состоит обозначение стандартной резьбы?
9. Что представляют собой метрическая, трубная, цилиндрическая, трапецеидальная и упорная резьбы?
10. Какие требования предъявляют к сборке резьбовых соединений?
11. В чем проявляется износ резьбовых соединений?
12. За счет чего обеспечивается жесткость при сборке неподвижных разъемных соединений?
13. Каковы особенности применения инструмента при затяжке резьбового соединения?
14. Назовите виды шпонок, применяемых в шпоночных соединениях.
15. Каким образом осуществляется ремонт шпоночных пазов?
16. Какова последовательность действий при пригонке шпоночного соединения?

Список литературы

Бахарев В. П. Проектирование и конструирование в машиностроении / В. П. Бахарев, А. П. Дубинин, А. Г. Схиртладзе. — Старый Оскол : ТНТ, 2009.

Гаврилин А. М. Металлорежущие станки : в 2 т. / [А. М. Гаврилин, В. И. Сотников, А. Г. Схиртладзе и др.]. — М. : Издательский центр «Академия», 2012.

Гельберг Б. Т. Ремонт промышленного оборудования / Б. Т. Гельберг, Г. Д. Пекелис. — М. : Высш. шк., 1988.

Горохов В. А. Технология, оснащение и организация ремонтно-восстановительного производства / В. А. Горохов, А. П. Иванов, А. Г. Схиртладзе. — Старый Оскол : ТНТ, 2013.

Гречишников В. А. Режущие инструменты / [В. А. Гречишников, С. Н. Григорьев, А. Г. Схиртладзе и др.]. — Старый Оскол : ТНТ, 2009.

Гречишников В. А. Режущий инструмент / [В. А. Гречишников, А. Г. Схиртладзе, В. А. Иванов и др.]. — Пермь : Изд-во Перм. ГТУ, 2007.

Гречишников В. А. Формообразующие инструменты машиностроительных производств / В. А. Гречишников, А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. — Старый Оскол : ТНТ, 2008.

Григорьев С. Н. Виды обработки и наладки металлообрабатывающих станков машиностроительных производств : учеб. пособие / С. Н. Григорьев, В. В. Морозов, А. Г. Схиртладзе. — М. : Изд-во МГТУ «Станкин», 2007.

Григорьев С. Н. Технология обработки концентрированными потоками энергии / С. Н. Григорьев, Е. В. Смоленцев, М. А. Волосова. — Старый Оскол : ТНТ, 2010.

Гуревич Ю. Е. Детали машин и основы конструирования / Ю. Е. Гуревич, М. Г. Косов, А. Г. Схиртладзе. — М. : Издательский центр «Академия», 2012.

Ефремов В. Д. Металлорежущие станки / В. Д. Ефремов, В. А. Горохов, А. Г. Схиртладзе. — Старый Оскол : ТНТ, 2007.

Железнов Г. С. Процессы механической и физико-химической обработки / Г. С. Железнов, А. Г. Схиртладзе. — Старый Оскол : ТНТ, 2013.

Мухин А. В. Производство деталей металлорежущих станков / [А. В. Мухин, О. В. Спиридонов, А. Г. Схиртладзе и др.]. — М. : Машиностроение, 2003.

Рахимянов Х. М. Технология сборки и монтажа / Х. М. Рахимянов, Б. А. Красильников, Э. З. Мартынов. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009.

Сердобинцев Ю. П. Повышение качества функционирования технологического оборудования / Ю. П. Сердобинцев, О. В. Бурлаченко, А. Г. Схиртладзе. — Старый Оскол : ТНТ, 2013.

Серебреницкий П. П. Краткий справочник станочника / П. П. Серебреницкий, А. Г. Схиртладзе. — М. : Дрофа, 2008.

Скворцов А. В. Основы технологии автоматизированных машиностроительных производств / А. В. Скворцов, А. Г. Схиртладзе. — М. : Высш. шк., 2010.

Ступин А. В. Детали машин / А. В. Ступин, Б. Я. Мекрицкий, А. Г. Схиртладзе. — М. : Спектр, 2014.

Схиртладзе А. Г. Предремонтное изнашивание зубчатых передач // Технология металлов. — 2002. — № 6.

Схиртладзе А. Г. Ремонт деталей шпоночных соединений // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2002. — № 9.

Схиртладзе А. Г. Ремонт деталей передач винт—гайка // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2003. — № 4.

Схиртладзе А. Г. Ремонт деталей ременных передач промышленного оборудования // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2002. — № 11.

Схиртладзе А. Г. Ремонт фрикционных передач // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2003. — № 3.

Схиртладзе А. Г. Ремонт поршневых и винтовых насосов // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2003. — № 7.

Схиртладзе А. Г. Ремонт цепных передач // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2003. — № 6.

Схиртладзе А. Г. Ремонт пластинчатых насосов // Технология металлов. — 2004. — № 1.

Схиртладзе А. Г. Ремонт гидравлических приводов // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2004. — № 1.

Схиртладзе А. Г. Ремонт подъемных кранов / А. Г. Схиртладзе, В. А. Скрябин, В. П. Борискин. — Старый Оскол : ТНТ, 2010.

Схиртладзе А. Г. Технология восстановления корпусных деталей / А. Г. Схиртладзе // Технология металлов. — 2001. — № 12.

Схиртладзе А. Г. Технология восстановления станин технологического оборудования // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2002. — № 2.

Схиртладзе А. Г. Технология ремонта шпинделей // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2002.

Схиртладзе А. Г. Ремонт зубчатых колес // Технология металлов. — 2002. — № 5.

Схиртладзе А. Г. Технология восстановления гладких и шлицевых валов // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2002. — № 5.

Схиртладзе А. Г. Ремонт деталей резьбовых соединений // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2002. — № 7.

Схиртладзе А. Г. Технологические процессы в машиностроении / А. Г. Схиртладзе. — М. : Высш. шк., 2007.

Схиртладзе А. Г. Технологические основы ремонта и восстановления производственных машин и оборудования / [А. Г. Схиртладзе, С. Н. Григорьев, В. А. Скрябин и др.]. — Старый Оскол : ТНТ, 2012.

Схиртладзе А. Г. Технологические процессы автоматизированного производства / А. Г. Схиртладзе, А. В. Скворцов. — М. : Издательский центр «Академия», 2011.

Схиртладзе А. Г. Ремонт технологических машин и оборудования / А. Г. Схиртладзе, В. А. Скрябин, В. П. Борискин. — Старый Оскол : ТНТ, 2010.

Схиртладзе А. Г. Формообразующие инструменты в машиностроении / [А. Г. Схиртладзе, Л. А. Чушина, А. И. Пульбере и др.]. — М. : Новое знание, 2006.

Схиртладзе А. Г. Технологические процессы в машиностроении / [А. Г. Схиртладзе, О. Г. Ярушин, Г. А. Мелетьев, Е. Н. Трембач]. — Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2007.

Схиртладзе А. Г. Технологические процессы в машиностроении / А. Г. Схиртладзе, С. Г. Ярушин. — Старый Оскол : ТНТ, 2008.

Тилипалов В. Н. Основы квалиметрии технологических процессов механической обработки / В. Н. Тилипалов, А. Г. Схиртладзе. — Старый Оскол : ТНТ, 2013.

Тимирязев В. А. Технологии машиностроительных производств / [В. А. Тимирязев, А. Г. Схиртладзе, В. У. Мнацаканян и др.]. — Йошкар-Ола : Поволжский UNE, 2013.

Феофанов А. Н. Гибкие автоматические линии в машиностроении / А. Н. Феофанов. — М. : Янус-К, 2002.

Феофанов А. Н. Основы машиностроительного черчения / А. Н. Феофанов. — М. : Издательский центр «Академия», 2012.

Феофанов А. Н. Чтение рабочих чертежей / А. Н. Феофанов. — М. : Издательский центр Академия», 2015.

Феофанов А. Н. Технологическое оборудование автоматизированных машиностроительных производств / А. Н. Феофанов. — М. : Изд-во МГТУ «Станкин», 2012.

Феофанов А. Н. Комплексная автоматизация в машиностроении : учеб. пособие / А. Н. Феофанов. — М. : Из-д-во МГТУ «Станкин», 2008.

Хвастунов Р. М. Квалиметрия в машиностроении / [Р. М. Хвастунов, А. Н. Феофанов, В. М. Корнеева, Е. Г. Нахапетян]. — М. : Экзамен, 2009.

Царев А. М. Системы машин переменной компоновки и структуры в машиностроении (Теоретические основы создания) / А. М. Царев. — Тольятти : Изд-во ТолПИ, 2000.

Чернянский П. М. Проектирование и ремонт шпиндельных узлов / П. М. Чернянский, А. Г. Схиртладзе. — М. : ИНФРА-М, 2014.

Черпаков Б. И. Автоматизация и механизация производства / Б. И. Черпаков, Л. И. Вереина. — М. : Издательский центр «Академия», 2004.

Чупина Л. А. Проектирование технологических операций металлообработки / [Л. А. Чупина, С. Н. Григорьев, А. Г. Схиртладзе и др.]. — Старый Оскол : ТНТ, 2013.

Юркевич В. В. Надежность и диагностика технологических систем / В. В. Юркевич, А. Г. Схиртладзе. — М. : Издательский центр «Академия», 2011.

Юркевич В. В. Жизненный цикл металлорежущих станков : мониторинг состояний / В. В. Юркевич, А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. — Старый Оскол : ТНТ, 2014.

Оглавление

Предисловие 5

Глава 1. Понятие о машинах, деталях машин и механизмах 5

1.1. Основные сведения 5
1.2. Ременные передачи 7
1.3. Цепные передачи 11
1.4. Фрикционные передачи 14
1.5. Зубчатые передачи 18
1.5.1. Основные понятия, классификация и виды разрушения 18
1.5.2. Конструкции зубчатых колес 26
1.5.3. Цилиндрические зубчатые передачи 27
1.6. Косозубые цилиндрические передачи 35
1.6.1. Общие сведения 35
1.6.2. Геометрический расчет эвольвентных косозубых цилиндрических передач 36
1.6.3. Шевронные передачи 39
1.7. Червячные передачи 40

Глава 2. Классификация металлорежущих станков 45

2.1. Металлорежущие станки 45
2.1.1. Общая классификация металлорежущих станков 45
2.1.2. Общие сведения о металлорежущих станках 45
2.1.3. Классификация современных станков сверлильно-фрезерно-расточной группы 52
2.2. Токарно-винторезные станки 59
2.3. Токарно-револьверные станки 63
2.4. Станки сверлильно-расточной группы 65
2.5. Горизонтальные сверлильно-расточные станки 70
2.6. Фрезерные станки 73
2.6.1. Консольные и бесконсольные горизонтально- и вертикально-фрезерные станки 73
2.6.2. Продольно-фрезерные станки 77
2.6.3. Фрезерные станки, работающие методом непрерывного фрезерования 78
2.7. Станки строгальной группы 80
2.7.1. Поперечно-строгальные станки 80

2.7.2. Продольно-строгальные станки ... 81
2.8. Станки шлифовальной группы ... 82
2.8.1. Общие сведения ... 82
2.8.2. Круглошлифовальные станки центровые ... 83
2.8.3. Бесцентровые круглошлифовальные станки ... 85
2.8.4. Внутришлифовальные станки ... 86
2.8.5. Плоскошлифовальные станки ... 88
2.8.6. Станки непрерывного шлифования и доводочные ... 90
2.9. Станки с числовым программным управлением ... 93
2.9.1. Токарные станки с числовым программным управлением и многоцелевые станки ... 93
2.9.2. Фрезерные станки с числовым программным управлением ... 104
2.9.3. Многоцелевые станки для обработки корпусных и плоских деталей ... 109

Глава 3. Износ деталей промышленного оборудования ... 123

3.1. Сущность явления износа ... 123
3.2. Характер износа деталей ... 126
3.3. Признаки износа ... 130
3.4. Предельные износы ... 132

Глава 4. Способы восстановления и повышения долговечности деталей сваркой и наплавкой ... 134

4.1. Виды сварки и наплавки ... 134
4.1.1. Общие сведения ... 134
4.1.2. Дуговая сварка и наплавка ... 134
4.1.3. Газовая сварка и наплавка ... 139
4.2. Присадочные материалы ... 142
4.3. Разновидности сварочно-наплавочных процессов по степени их механизации ... 148
4.3.1. Ручные способы сварки и наплавки ... 148
4.3.2. Механизированные способы сварки и наплавки ... 161
4.4. Электроды для дуговой сварки ... 175
4.5. Ручная электродуговая сварка и наплавка стальных деталей ... 183
4.6. Газовая сварка деталей ... 186
4.7. Автоматическая электродуговая сварка и наплавка под слоем флюса ... 188
4.8. Последовательность расчета режимов наплавки ... 194
4.9. Металлизация напылением ... 196
4.10. Электролитические и химические покрытия ... 203
4.10.1. Технологический процесс нанесения покрытий ... 203
4.10.2. Хромирование ... 205
4.10.3. Влияние механической обработки основы

и покрытий на их физико-механические свойства 210
4.10.4. Механическая обработка поверхностей деталей до и после хромирования 215
4.10.5. Осталивание 224

Глава 5. Ремонт неподвижных соединений 227

5.1. Резьбы 227
5.2. Ремонт деталей резьбовых соединений 237
5.3. Ремонт деталей шпоночных соединений шпиндельных узлов 259

Список литературы 267

Учебное издание

Схиртладзе Александр Георгиевич,
Феофанов Александр Николаевич,
Митрофанов Владимир Георгиевич,
Капитанов Алексей Вячеславович,
Гришина Татьяна Геннадьевна,
Негримовская Наталья Петровна,
Искра Дмитрий Евгеньевич

Организация и проведение монтажа и ремонта промышленного оборудования

Часть 1

Учебник

Редактор *Н.В.Жукова*
Компьютерная верстка: *Р.Ю.Волкова*
Корректоры *С.Ю.Свиридова, О.В.Попова*

Изд. № 101116958. Подписано в печать 29.04.2016. Формат 60 × 90/16.
Гарнитура «Балтика». Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 17,0.
Тираж 1500 экз. (1-й завод — 800 экз.). Заказ № М-1431.

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru
129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1.
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 16679 от 25.05.2015.

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленного электронного оригинал-макета
в типографии филиала АО «ТАТМЕДИА» «ПИК «Идел-Пресс».
420066, г. Казань, ул. Декабристов, 2.
E-mail: idelpress@mail.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ МОНТАЖА И РЕМОНТА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В двух частях
Часть 1

ISBN 978-5-4468-2347-5



Издательский центр «Академия»
www.academia-moscow.ru