

34.7
Г73

Отсдинер, В. В. Девятов
В. С. Ермаков

ТЕХНОЛОГИЯ дорожного и строительного машиностроения



34.7
Г73

С. Г. ГОТСДИНЕР, канд. техн. наук,
В. В. ДЕВЯТОВ, канд. техн. наук,
В. С. ЕРМАКОВ, канд. техн. наук

ТЕХНОЛОГИЯ ДОРОЖНОГО И СТРОИТЕЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Под общей редакцией канд. техн. наук В. В. ДЕВЯТОВА

Допущено

*Министерством строительного, дорожного
и коммунального машиностроения СССР
в качестве учебника для машиностроительных средних специальных
учебных заведений по специальности
«Технология строительного и дорожного машиностроения»*



МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1980 -

14221

X M W 82 V 18
Y
98

ББК 34.5
Г73
УДК 621.625.002

Рецензенты канд. техн. наук Г. Н. Мошкарёв, инж. А. Н. Штыков

Готсдинер С. Г., Девятов В. В., Ермаков В. С.
Г73 Технология дорожного и строительного машиностроения:
Учебник для машиностроительных средних специальных
учебных заведений./Под общ. ред. В. В. Девятова. — М.:
Машиностроение, 1980. — 286 с., ил.
В пер.: 70 к.

Г $\frac{31200-203}{038(01)-80}$ 203-80. 2704000000

ББК 34.5
6П5.4

БИБЛИОТЕКА
П/к Фаскад

© Издательство «Машиностроение», 1980 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник «Технология дорожного и строительного машиностроения» предназначен для учащихся средних специальных учебных заведений Министерства строительного, дорожного и коммунального машиностроения и соответствует программе этого курса. В учебнике наряду с вопросами, являющимися общими для всех отраслей машиностроения, рассмотрены также вопросы, отражающие особенности построения технологических процессов обработки и сборки специфических деталей и узлов строительных и дорожных машин.

В отличие от существующих учебников по технологии машиностроения содержание данного учебника не ограничивается изложением вопросов механической обработки и сборки. В него включено описание прогрессивных способов термической, химико-термической, электрофизической обработки. Большое внимание в учебнике уделено вопросам малоотходной технологии производства заготовок—обработке металлов пластическим деформированием и порошковой металлургии.

При написании учебника авторы учитывали, что изучению курса «Технология строительного и дорожного машиностроения» согласно программе средних специальных учебных заведений предшествует прохождение предметов «Резание металлов, станки и инструмент», «Металловедение и конструкционные материалы», «Технология горячей обработки материалов».

Раздел I учебника — гл. 1, 2, 3, 4 (§ 1, 2, 6), 5; раздел III — гл. 1; раздел IV, раздел V написаны С. Г. Готсдинером. Раздел I — гл. 4 (§ 4), раздел II, раздел III — гл. 2 написаны В. В. Демятовым. Раздел I — гл. 4 (§ 3 и 5) написаны В. С. Ермаковым.

ВВЕДЕНИЕ

На современном машиностроительном предприятии процесс изготовления большинства деталей состоит из следующих основных этапов: 1) производства заготовки; 2) формообразования детали; 3) придания детали необходимых эксплуатационных свойств.

Производство заготовки может быть осуществлено литьем, отрезкой от проката, пластическим деформированием, способами порошковой металлургии, сваркой и др. Формообразование детали с получением заданных размеров и шероховатостей может быть осуществлено резанием, пластическим деформированием, электрофизическими способами. Придание детали необходимых эксплуатационных свойств осуществляется термической обработкой, пластическим деформированием, наплавкой, воздействием различных видов энергии, химической и электрофизической обработкой. Завершающим этапом является сборка деталей в изделие. Совокупность этапов изготовления изделия составляет содержание предмета «Технология машиностроения».

Специфичность функционирования строительных и дорожных машин обуславливает особенности их конструирования и технологии изготовления. Конструкции большинства типов строительных и дорожных машин отличаются большими габаритными размерами (краны, экскаваторы, бульдозеры, грейдеры и др.). В кинематических схемах узлов, обеспечивающих рабочие движения строительных и дорожных машин, применяют крупномодульные зубчатые и червячные передачи, обладающие значительной несущей способностью, гидропередачи с рабочим давлением жидкости, достигающим 25 МН/м^2 .

Условия эксплуатации строительных и дорожных машин вызывают необходимость предусмотрения в технологических процессах обработки и сборки операций, обеспечивающих высокую надежность работы этих машин. Например, в технологический процесс механической обработки гильзы гидроцилиндра (наиболее ответственной детали, определяющей работоспособность все-

го механизма) необходимо включать отделочные операции, гарантирующие получение высокой износостойкости. Строительным и дорожным машинам, нередко работающим со знакопеременными нагрузками и вибрациями, необходимо придавать высокие демпфирующие свойства путем соответствующих конструктивных и технологических решений.

Большинство строительных и особенно дорожных машин работают в условиях интенсивного абразивного износа. Рабочие органы и некоторые другие узлы землеройных машин (экскаваторов, бульдозеров, грейдеров) постоянно работают в абразивной среде. В технологические процессы обработки деталей этих узлов должны быть включены операции, связанные с использованием защитных покрытий, наплавки износостойкими материалами, термической обработки, способствующих защите изнашивающихся органов от интенсивного разрушения.

Обширные области использования строительных и дорожных машин, связанные с грандиозными масштабами промышленного строительства в нашей стране, определяют необходимость применения этих машин в широком диапазоне температур окружающей среды (от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$). Обеспечение надежности работы машин в этих условиях должно идти по пути совершенствования их конструкций, а также по пути повышения необходимых эксплуатационных характеристик технологическими способами.

Кроме специфических требований, вызванных особенностями конструкции, производства и эксплуатации, к строительным и дорожным машинам предъявляются требования, которые являются общими для машиностроения. Это касается режимов смазки, ухода, соблюдения циклов ремонта и т. д.

Изложение предмета определяется задачами, стоящими перед машиностроением в целом и перед строительным, дорожным и коммунальным машиностроением в частности. Для машиностроения в целом основными являются следующие задачи: значительное увеличение выпуска и улучшение качества продукции; углубление и расширение внутриотраслевой и межотраслевой специализации на основе стандартизации и унификации изделий, узлов и деталей и типизации технологических процессов; техническое перевооружение предприятий новым металлообрабатывающим оборудованием; повышение эффективности использования металла за счет применения более экономичных профилей и других конструкционных материалов и совершенствования методов обработки; внедрение автоматизированных комплексов оборудования, обеспечивающего получение высокоточных заготовок; удовлетворение потребностей народного хозяйства в запасных частях к машинам в соответствии с техническими нормами.

Для строительного, дорожного и коммунального машиностроения основными являются следующие задачи: обеспечение создания и освоения выпуска систем машин для комплексной

механизации работ в промышленном, сельскохозяйственном, мелноративном, жилищном, дорожном строительстве и машин повышенной единичной мощности с широким применением гидравлики и автоматики; освоение производства и организация серийного выпуска новейшего оборудования и машин для скоростного строительства магистральных автомобильных дорог, проходческих щитов для сооружения метрополитенов и тоннелей, высокопроизводительных технологических линий для производства цемента сухим способом, оборудования для механизации процессов производства стеновых, рулонных, кровельных, нерудных строительных материалов, санитарно-технического фаянса, тепло-и звукоизоляционных изделий из минеральной ваты, строительных материалов из керамики и природного камня; расширение номенклатуры и повышение технического уровня механизированного строительного-монтажного инструмента и строительного-отделочного машин; организация производства комплексов высокопроизводительных машин и оборудования для заготовки и сплава древесины; дальнейшее увеличение выпуска машин и оборудования для предприятий бытового обслуживания, жилищно-коммунального хозяйства; особенно для комплексной механизации уборки и санитарной очистки городов, производственных и торговых помещений, а также противопожарной техники.

Учитывая большое разнообразие продукции, выпускаемой предприятиями министерства строительного, дорожного и коммунального машиностроения, техникумы должны готовить специалистов широкого профиля, способных применять наиболее эффективные технологические процессы и в первую очередь — высокопроизводительные малоотходные и безотходные процессы, позволяющие сокращать расход металла и повышать качество изделий. К таким процессам относятся способы обработки без снятия стружки, широко применяемые при производстве заготовок, но сравнительно мало используемые при изготовлении деталей.

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Глава I

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИИ
МАШИНОСТРОЕНИЯ

§ 1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ

Рост промышленного производства, темпы перевооружения предприятий новой техникой в значительной мере зависят от уровня развития машиностроения. Технология машиностроения в современных условиях становится не только наукой о методах изготовления машин, но и способна устанавливать критерии выбора оптимальных вариантов производства. Оптимизация процессов производства способствует повышению производительности оборудования и обеспечивает получение высоких качественных показателей изделий, что обуславливает повышение надежности работы машин. Все стадии производства, начиная от получения заготовки и кончая сборкой машины, должны быть организованы на современном научно-техническом уровне и обеспечивать повышение производительности труда, снижение себестоимости изготовления и высокие эксплуатационные показатели машины.

Одной из главных задач технологии машиностроения является изучение закономерностей протекания технологических процессов и выявление тех параметров, воздействие на которые наиболее эффективно для интенсификации и повышения точности производства.

ГОСТ 3.1109—73 «Процессы технологические» устанавливает следующие технологические термины и понятия:

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

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

Операционный технологический процесс — технологический процесс, выполняемый по документации, в которой содержание операций излагается без указания переходов и режимов обработки.

Элементами технологических операций являются: установ,

технологический переход, вспомогательный переход, рабочий ход и вспомогательный ход.

Установ — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки или собираемой сборочной единицы.

Технологический переход — законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.

Вспомогательный переход — законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и чистоты поверхностей, но необходимы для выполнения технологического перехода.

Рабочий ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, чистоты поверхности или свойств заготовки.

Вспомогательный ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемого изменением форм, размеров, чистоты поверхности или свойств заготовки, но необходимом для выполнения рабочего хода.

В указанном ГОСТе содержатся определения и других терминов, которыми следует руководствоваться при разработке технологической документации. В основную документацию — технологическую карту — необходимо заносить все операции, переходы, ходы и позиции. Операции и переходы нумеруют арабскими цифрами 1; 2; 3; 4; 5 и т. д. Рабочие ходы каждой операции начинаются с № 1. Установы и позиции обозначают буквами А, Б, В и т. д., начиная в каждой новой операции с буквы А.

Технологический процесс сборки машин составляет часть производственного процесса по соединению деталей в подгруппы, группы и готовые изделия. Деление изделия на составные части в машиностроении дано в ГОСТ 2101—68.

Согласно этому ГОСТу изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. ГОСТ устанавливает следующие виды изделий: детали; сборочные единицы; комплексы; комплекты.

Изделия в зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей делят на: а) неспецифицированные (детали) — не имеющие составных частей; б) специфицированные (сборочные единицы, комплексы, комплекты) — состоящие из двух и более составных частей.

Деталь — изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций.

Сборочная единица — изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе

сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, опрессовкой, развальцовкой, склеиванием, сшивкой, укладкой и т. п.).

Комплекс — два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций.

Комплект — два и более изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например: комплект запасных частей, комплект инструментов и принадлежностей и т. п.

Эта терминология является технологической и зафиксирована в единой системе технологической документации (ЕСТД), а в единой системе конструкторской документации (ЕСКД) принята конструкторская терминология: детали, сборочные единицы, комплексы и компоненты.

Основные детали или узлы, с которых начинается процесс сборки, называют базовыми. Процесс сборки подразделяют на общую и узловую. Общая сборка состоит из соединений, подгрупп и групп, узловая сборка — из соединений деталей в подгруппы и группы.

§ 2. ТИПЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ И МЕТОДЫ РАБОТЫ

Классификация типов производства. Тип производства в машиностроении определяется программой выпуска одинаковых изделий и трудоемкостью их изготовления. Необходимость четкого разграничения типов производства вызвана не формальными соображениями. В зависимости от количества изделий, выпускаемых предприятием в течение года, определяют содержание проектируемых технологических процессов их изготовления и выбор связанных с ними оборудования, инструментов, приспособлений и т. п. Типом производства определяется характер решения таких важных вопросов машиностроения, как автоматизация и механизация производственных процессов. В машиностроении различают три типа производства: единичное, серийное и массовое (табл. 1).

Таблица 1

Тип производства в зависимости от количества выпускаемой продукции, шт.

Производство	Крупные машины	Средние машины	Мелкие машины
Единичное	1—3	3—10	10—25
Серийное	5—25	25—150	50—300
Массовое	500—1000	10 000—500 000	500 000—1 000 000

Однако эти величины не полностью характеризуют типы производства, поскольку рассматривать нужно не только машины, но и отдельные детали. В практике машиностроения встречаются случаи, когда одни детали (например, крепежные) нужно выпускать по принципам массового производства, другие детали (например, шестерни) — по принципам серийного, а большинство других деталей и машин — по принципам единичного производства. Следовательно, в цехе современного машиностроительного завода может действовать одновременно автоматическое, агрегатное и универсальное оборудование, выполняющее каждое свои функции.

Тип производства, кроме того, определяет характер расстановки оборудования. При единичном производстве универсальные станки устанавливают по групповому признаку, т. е. токарные, сверлильные, фрезерные и т. д. При серийном производстве необходимо закладывать принципы поточной технологии и в соответствии с этим расставлять оборудование. Здесь успешно практикуется также создание переменного-поточной технологии, которая предусматривает обработку деталей партиями с соответствующей переналадкой оборудования и оснастки. Массовое производство характеризуется непрерывностью поточной технологии, строгим закреплением операций за определенными станками.

В машиностроении различают два метода работы: поточный и непоточный. При поточном методе работы оборудование различных типов располагают по ходу технологического процесса в виде поточных линий. При непоточном методе работы оборудование одинакового типа располагают вместе, отдельными группами, без учета хода технологического процесса.

Понятия о такте выпуска и коэффициенте серийности. Методика определения типа производства. Для четкого разграничения типов производства, определяющих важнейшие параметры технологии, необходимо изучить методы определения величин, называемых тактом выпуска и коэффициентом серийности. Под тактом при поточном методе работы понимают расчетный промежуток времени, через который с поточной линии сходит единица продукции.

Такт выпуска, мин,

$$t_n = \frac{60 F_d m}{N},$$

где F_d — действительный фонд времени работы оборудования в одну смену, ч; m — число рабочих смен в году; N — годовая программа выпуска деталей, узлов или машин, шт.

Коэффициент серийности определяет число операций, закрепленных за одним станком:

$$k_{сер} = \frac{t_n}{t_{ш}^{сп}},$$

где $t_{\text{шт}}^{\text{ср}}$ — среднее штучное время по операциям обработки деталей, мин.

Тип производства следует определять по величине коэффициента серийности; при $k_{\text{сер}} < 2$ — массовое, при $k_{\text{сер}} = 2 \div 10$ — крупносерийное, при $k_{\text{сер}} > 20$ — мелкосерийное и единичное производство.

Зависимость между типом производства, технологическим оборудованием и оснасткой. При выборе технологического оборудования, проектировании оснастки и инструмента необходимо учитывать тип производства. В единичном производстве используют преимущественно универсальные станки, приспособления и нормальный режущий инструмент. Этому типу производства соответствует также универсальный измерительный инструмент (штангенциркули, микрометры, индикаторы, а также разметочные плиты и устройства). Одновременно следует отметить, что единичное производство требует рабочих высокой квалификации.

Серийное производство позволяет значительно снизить процент универсального оборудования и дает возможность широкого использования таких типов станков, как револьверные, токарные, многолезцовые, полуавтоматы и специальные станки, в том числе агрегатные. Применение такого оборудования дает возможность использовать специальные приспособления и специальный режущий и измерительный инструмент. Все это позволяет значительно повышать производительность обработки и снижать себестоимость продукции серийного производства.

Массовое производство характеризуется еще большей степенью специализации и дифференциации операций, которые, будучи расчленены на мелкие, выполняются на автоматах, многопозиционных и агрегатных станках. В массовом производстве в основном используют специальную оснастку, режущий и измерительный инструменты. Применение предельных калибров обеспечивает необходимую взаимозаменяемость деталей машин. Массовое производство является наиболее прогрессивным. При разработке технологических процессов, выборе оборудования, оснастки и инструмента следует ориентироваться на оптимальные методы изготовления различных деталей и сборочных единиц машин способами массового, серийного и единичного производства.

Главными критериями оптимальности должны быть технико-экономические показатели производства. Первичные расчеты при создании новой и совершенствовании действующей технологии следует производить по величине такта выпуска $t_{\text{в}}$ и коэффициента серийности $k_{\text{сер}}$. Расчеты среднего штучного времени нужно производить по различным вариантам операций с учетом применения рациональных видов технологического оборудования. Таким образом, выбирают целесообразный тип производства и способ разработки технологических процессов.

§ 3. ГЛАВНЫЕ ЗАДАЧИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Качество сборочных операций и качество готовой машины во многом зависят от качества обработки деталей, уровня их взаимозаменяемости, а также от качества сборки подгрупп и групп. Таким образом, при сборке машин проявляется качество всего технологического процесса (как обработки, так и сборки).

Важнейшими задачами совершенствования технологических процессов являются в первую очередь мероприятия, обеспечивающие высококачественную обработку деталей. Под качеством обработки в настоящее время понимают изготовление деталей необходимой точности, обеспечение заданной шероховатости обрабатываемой поверхности и обеспечение заданного физико-механического состояния поверхностного слоя обрабатываемой поверхности. Задачи по совершенствованию технологических процессов этим не исчерпываются.

Кроме указанных выше аспектов качества обработки, следует указать также и такие, как совершенствование методов выбора оптимальных режимов резания, обеспечивающих рациональное использование оборудования, инструмента и высокие параметры качества изделия; правильный выбор металлорежущего оборудования (специального, универсального или специализированного, автоматического, полуавтоматического или неавтоматизированного); возможное исключение или максимальное уменьшение объема механической обработки резанием и получение заготовок с требуемыми размерами путем внедрения и совершенствования процессов точного литья, обработки давлением и других современных методов получения точных заготовок; совершенствование методов сборки и сварки с применением прогрессивного оборудования.

Следовательно, вопросы совершенствования технологии машиностроения заключаются не только в увеличении удельного выпуска машин с единиц производственных площадей и оборудования, но и в значительном повышении параметров качества, определяющих надежность работы деталей и машин.

§ 4. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН

Под технологичностью конструкций машин понимают выполнение таких требований к деталям, сборочным единицам и всей машине в целом, когда их изготовление и эксплуатация будут максимально экономичны. В условиях производства это означает снижение трудоемкости и себестоимости изготовления, а в условиях эксплуатации — надежность и ремонтоспособность.

Для выполнения указанных требований необходимо предусматривать использование унифицированных сборочных единиц, применение однотипных деталей, конструирование деталей с

возможностью их высокопроизводительной обработки (т. е. достаточно жесткими) и с наличием базирующих поверхностей, возможность получения заготовок с минимальными припусками на обработку, уменьшение объема или ликвидацию слесарно-пригоночных работ при сборке,

Сборка деталей и сборочных единиц машин без индивидуальной подгонки обеспечивается их взаимозаменяемостью, что повышает производительность создаваемых машин при эксплуатации и снижает расходы на их ремонт.

Обеспечение технологичности конструкций заготовок сводится к изготовлению отливок с возможно более одинаковыми по толщине стенками, что обеспечивает более оптимальную структуру деталей; конструкция литой заготовки должна обеспечивать простейший способ разъема модели; литая заготовка должна иметь уклоны, позволяющие производить выемку моделей из формы без ее повреждения; штампованные или кованные заготовки не должны иметь резких переходов, а острые кромки должны быть закруглены. Технологичность конструкции предусматривается ГОСТами. Кроме общих требований к технологичности конструкций, содержащихся в ГОСТах, на каждом предприятии должны быть разработаны технические требования, учитывающие конкретные производственные условия и одновременно удовлетворяющие главнейшим принципам, изложенным в ГОСТах.

§ 5. РЕЖИМЫ ОБРАБОТКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НОРМЫ ВРЕМЕНИ

Ниже приведена методика расчета режимов резания на примере продольного точения детали одним инструментом. Режимы обработки при точении: скорость резания v , м/мин; подача s , мм/об; глубина резания t , мм; тангенциальная составляющая P_z силы резания, действующая в направлении главного движения, H . От правильного выбора этих величин зависит качество обработанной поверхности, производительность и коэффициенты использования мощности станка и режущего инструмента. Для выбора рационального режима резания используют следующие формулы:

$$v = \frac{C_v}{t^x s^y}, \quad P_z = C_{P_z} t^x P_z^y s^u v^n k_{P_z},$$

где C_v — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала, геометрии, способа охлаждения материала и стойкости режущего инструмента; t — глубина резания, мм; s — подача, мм/об; x и y — показатели степеней, зависящие от материала резца и обрабатываемой детали, а также от условий обработки, при точении резцами из быстрорежущей стали при $s \leq 0,25$ мм/об; $x_v = 0,25$; $y_v = 0,33$; при $s > 0,25$ мм/об $x_v = 0,25$; $y_v = 0,66$; P_z —

тангенциальная составляющая силы резания, H ; C_{Pz} — коэффициент, зависящий от материала заготовки и условий обработки; x_{Pz} ; y_{Pz} ; n — показатели степеней, зависящие от материала заготовки и величины подачи; k_{Pz} — коэффициент, зависящий от условий работы.

При точении твердосплавными резцами стали $\sigma_n = 750 \text{ МН/м}^2$ значения этих величин для $s \leq 0,75 \text{ мм/об}$ будут: $C_{Pz} = 300$; $x_{Pz} = 1,0$; $y_{Pz} = 0,75$; $n = -0,15$.

Значения коэффициентов для различных условий работы даются в справочниках по обработке металлов резанием.

Определив тангенциальную составляющую P_z силы резания, находят значение двойного крутящего момента $P_z D$ при обработке детали диаметром D . Зная скорость резания, определяют частоту вращения шпинделя станка и фактическую скорость резания

$$n_D = \frac{1000 v}{\pi D}, \quad v_f = \frac{\pi D n_f}{1000}.$$

Затем по фактической скорости резания рассчитывают потребляемую мощность для обработки, кВт,

$$N = \frac{P_z v_f}{60 \cdot 10^2}.$$

По этим расчетам определяют возможности обработки на данном станке, коэффициент использования мощности станка и исходные данные для расчета технических норм времени.

Режимы резания для других видов обработки — фрезерования, строгания, протягивания и др. рассчитывают по соответствующим формулам, однако принцип расчета не изменяется. Во всех случаях механической обработки резанием определяют возможную для режущего инструмента скорость резания в зависимости от выбранных подачи и глубины резания, а затем силу резания и потребляемую мощность оборудования.

Значения этих величин определяют выбор технологического оборудования, а также служат основой для технического нормирования. Технические нормы времени определяются расчетами применительно к выбранному оборудованию с учетом новейших достижений науки о резании металлов и режущем инструменте, а также передовых методов организации производства.

Технические нормы времени являются основой для планирования и калькуляции изделий, а также для оплаты труда рабочих. В технические нормы времени входит время работы и перерывов. Время работы состоит из подготовительно-заключительного времени, оперативного времени, времени обслуживания рабочего места и времени перерывов, в которое входит время на отдых и естественные надобности.

Подготовительно-заключительное время учитывает затраты времени рабочим перед началом работы (на ознакомление с технической документацией, наладку станка, установку инструмента и приспособлений) и по завершении обработки (на снятие и сдачу инструмента и приспособлений, очистку станка и т. д.). Подготовительно-заключительное время, как правило, является партийным.

Оперативное время — это время, затрачиваемое на непосредственное выполнение операции по обработке одной или одновременно нескольких деталей. Оперативное время складывается из основного (технологического) и вспомогательного.

Основное (технологическое) время — это время, затрачиваемое непосредственно на обработку детали, и в зависимости от методов обработки оно может быть машинным, ручным или машинно-ручным. Вспомогательное время учитывает затраты времени на вспомогательные приемы работы — установку, закрепление и снятие деталей, измерения в процессе обработки и переключение механизмов, изменяющих режимы обработки.

Техническая норма времени учитывает также время на обслуживание рабочего места. Обычно величина времени обслуживания рабочего места в серийном производстве составляет 3% от оперативного времени.

Штучное время — это время, необходимое для обработки одной детали:

$$t_{шт} = t_{оп} + t_{об} + t_{пер},$$

где $t_{оп}$ — оперативное время; $t_{об}$ — время на обслуживание рабочего места; оно состоит из времени технического t_m и организационного $t_{орг}$ обслуживания рабочего места; $t_{пер}$ — время перерывов работы.

Штучное калькуляционное время

$$t_{ш.к} = \frac{t_{п.з}}{n} + t_{шт},$$

где $t_{п.з}$ — подготовительно-заключительное время; n — число деталей в партии.

Норму выработки определяют по технической норме времени, шт./мин; шт./ч или шт./смену. При продолжительности смены в 420 мин норма выработки

$$H = \frac{420}{t_{ш.к}}$$

Основное (технологическое) время

$$t_o = \frac{(l + l_1 + l_2 + l_3)l}{S_M},$$

где l — длина обрабатываемой поверхности, мм; l_1 — путь врезания инструмента, мм; l_2 — пробег инструмента или дета-

ли, мм; l_3 — дополнительный путь для пробных стружек, мм; i — число рабочих ходов; S_m — путь перемещения детали или инструмента в направлении подачи, мм/мин.

Для различных методов обработки относительное перемещение

$$S_m = sn \text{ или } S_m = s_z n,$$

где s — подача на один оборот, мм/об; n — частота вращения шпинделя, об/мин; s_z — подача на один зуб инструмента (фрезы, зенкера, развертки); z — число зубьев инструмента.

Глава 2

СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

§ 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Разработанный технологический процесс является обязательным для выполнения всеми производственными звеньями предприятия и регламентируется соответствующими формами технической документации. Эти формы нужно заполнять и выдавать исполнителям заблаговременно. При необходимости внесения изменений в технологический процесс, вызванных требованиями его совершенствования, их вносят своевременно, и об этом делают специальные записи в технической документации. Основным видом технической документации являются формы маршрутных карт.

12274

Операционная карта механической обработки резанием, отражая в себе комплекс работ, выполняемых на одном рабочем месте, должна быть на этом рабочем месте в качестве обязательного для выполнения документа. Операционная карта содержит: эскиз, наименование, массу и материал детали, оборудование, потребляемую и имеющуюся мощность, способ охлаждения зоны резания, тип приспособления, разряд работы, нормированное время на обработку и расценку, наименование переходов, режимы резания, режущий и измерительный инструмент. Операционная карта является частью карты технологического процесса. Карта технологического процесса представляет собой сводный документ и содержит все данные, касающиеся технических норм времени и расценок на обработку по операциям, а также указание о применяемых материалах. В качестве приложения к технологической карте составляют спецификацию оснастки, в которую заносят данные о приспособлениях и инструменте для каждой операции.

Независимо от наличия в операционной карте эскизов, переходов с размерами обработки детали каждая такая карта сопровождается рабочим чертежом этой детали, оформленным соглас-

но требованиям ЕСКД. Кроме перечисленной технической документации на каждом рабочем месте должны быть паспорта технологического оборудования, на котором выполняется та или иная операция, чертежи технологической оснастки, чертежи или нормы применяемого режущего и измерительного инструмента.

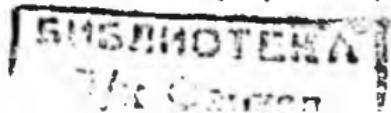
В паспорте станка содержится его техническая характеристика, в которой указывают: наибольшие диаметр и длину обработки; число ступеней частот вращения шпинделя; частоту вращения шпинделя в минуту; число гнезд для режущего инструмента; наибольший ход головки или ползуна, мм; мощность электродвигателя, кВт; максимально допустимую подачу, мм/об; массу станка, кг; габаритные размеры станка, мм, и другие данные, зависящие от конструкции станка (например, диаметр стола карусельного станка; размеры стола фрезерного или продольно-строгального станка; частота вращения шпинделей для многошпиндельных станков и т. п.). Эти данные необходимы для четкой организации работы на станке, сохранности и правильной его эксплуатации.

Необходимо стремиться к тому, чтобы выбранное оборудование точно соответствовало типу производства и было максимально использовано по мощности. Это достигается путем расчетного определения оптимальных режимов обработки.

Большая роль при механической обработке резанием отводится технологической оснастке, документацию на которую разрабатывают технологические службы предприятия. Имеется в виду документация на специальные виды оснастки, которую обычно выполняют в виде рабочих чертежей или заводских нормалей. Те виды оснастки, которые предусмотрены соответствующими ГОСТами или отраслевыми ТУ, не требуют дополнительных чертежей.

§ 2. ЕДИНЫЕ СИСТЕМЫ ДОКУМЕНТАЦИИ

В целях внедрения рациональных методов проектирования в нашей стране разработаны единые системы документации: Единая система технологической документации (ЕСТД), Единая система конструкторской документации (ЕСКД), Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП), Государственная система стандартизации (ГСС), Единая система классификации и кодирования (ЕСКК) и Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Единая система технологической документации обязательна для применения на всех машиностроительных заводах и направлена на внедрение общих правил при создании, оформлении, комплектации технологической документации и ее использовании. Это достигается стандартизацией форм технологической документации, установлением стадий ее разработки, едиными требованиями к тексто-



вым материалам, введением учета и системы применяемости деталей и сборочных единиц машин, введением правил оформления документации на заготовительные операции, механическую обработку деталей и сборку машин.

Единая система конструкторской документации призвана установить один, обязательный для всех, порядок оформления рабочих чертежей проектов новых машин. ЕСКД направлена на снижение длительности процессов проектирования и внедрения стандартизованных и унифицированных деталей, сборочных единиц и машин. ЕСТД и ЕСКД предусматривают возможность внедрения современной вычислительной техники в работу по созданию новых конструкций машин и технологии их производства. Указанные системы в равной мере применимы для единичного, мелкосерийного, серийного, крупносерийного и массового типов производства.

Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП) целиком базируется на ЕСТД и ЕСКД, а также на методах типизации технологических процессов и стандартизации технологической оснастки. Кроме того, ЕСТПП предусматривает необходимость и возможность агрегатирования оборудования и механизацию инженерного труда на основе современной вычислительной техники.

Государственная система стандартизации направлена на обеспечение высокого и стабильного качества всех видов выпускаемой продукции; создание единых для всех предприятий форм и систем технической документации, способствующих широкому внедрению электронно-вычислительной техники в процессы управления и технологии производства; развитие агрегатирования и унификации в машиностроении и приборостроении; совершенствование техники измерений, измерительных инструментов и приборов.

Единая система классификации и кодирования предусматривает общий и обязательный для всех организаций порядок ведения технико-экономической информации в промышленной продукции, видах производства, материально-технического снабжения, трудовых ресурсов, единиц измерений, конструкторской, технологической документации и т. п. Разработка таких систем классификации и кодирования позволяет с помощью электронно-вычислительной техники получать данные о производимой продукции, материальных и трудовых ресурсах, оптимальном размещении предприятий и т. п.

Единая система защиты от коррозии и старения направлена на установление для всех предприятий и организаций обязательных и однообразных методов защиты машин и других видов продукции от коррозии и преждевременного старения. Главнейшей задачей этих систем является повышение надежности работы машин.

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

§ 1. ПОНЯТИЕ О ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ
И ПУТИ ЕЕ ДОСТИЖЕНИЯ

Точность обработки деталей во многом предопределяет качество работы машины. Однако излишняя точность удорожает стоимость продукции. Детали должны быть обработаны с требуемой точностью, для чего вводят понятие экономической точности. Требуемая точность регламентируется системой допусков, которая определена соответствующими стандартами. Требуемая точность не исчерпывается изготовлением деталей в пределах соответствующих допусков. Значительная роль отводится также и точности формы деталей.

Основные положения относительно формы и расположения поверхностей регламентированы стандартами СТ СЭВ 307—76 «Общие термины и определения» и СТ СЭВ 368—76 «Допуски формы и расположения поверхностей».

Согласно стандарту СТ СЭВ 307—76 приняты следующие определения: реальная поверхность — поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды; номинальная поверхность — идеальная поверхность, номинальная форма которой задана чертежом или другой технической документацией.

Профиль — линия пересечения поверхности с плоскостью или заданной поверхностью. Направление секущей плоскости определяется по перпендикуляру к поверхности, если в технической документации не указано по-другому; реальный профиль — профиль реальной поверхности; номинальный профиль — профиль номинальной поверхности; элемент — обобщенный термин, под которым в зависимости от соответствующих условий может пониматься поверхность, линия, точка; отклонение формы — отклонение формы реальной поверхности или реального профиля от формы номинальной поверхности или номинального профиля; допуск формы — наибольшее допускаемое значение отклонения формы; номинальное расположение — расположение рассматриваемого элемента, определяемое номинальными линиями и угловыми размерами между ним и базами или между рассматриваемыми элементами, если базы не заданы (определение базы приводится ниже); реальное расположение — расположение рассматриваемого элемента, определяемое реальными линейными и угловыми размерами между ним и базами или между рассматриваемыми элементами, если базы не заданы; база — элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), определяющий одну из плоскостей или осей системы координат, по отношению к которой задается допуск расположения или

определяется отклонение расположения рассматриваемого элемента.

На рис. 1 представлена схема, показывающая, как при наличии погрешности формы размеры детали находятся в пределах заданных допусков. Требуемая точность обеспечивается обработкой деталей на соответствующем оборудовании и последующим контролем специальными или нормальными измерительными инструментами.

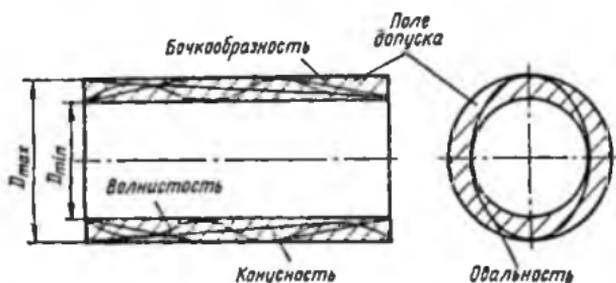


Рис. 1. Погрешности формы цилиндрической поверхности

В массовом и серийном производстве все измерения производят предельными калибрами и другими специальными инструментами. В условиях единичного производства используют универсальный измерительный инструмент (штангенциркули, микрометры и т. п.). Станки настраивают с помощью пробной обработки деталей или установки режущих инструментов на требуемые размеры по лимбам, индикаторам, миниметрам, эталонным деталям. Обычно в рабочих чертежах и технологических картах указывают величины допустимых отклонений от требуемой точности геометрической формы. Если на этот счет нет особых записей в технической документации, то имеется в виду, что эти отклонения должны быть в пределах установленных допусков.

В начале главы было дано определение понятия экономическая точность обработки. Смысл этого понятия сводится к тому, что экономическая целесообразность выбранного метода обработки основывается на принципах наименьших затрат при выполнении требуемых технических условий изготовления деталей.

При механической обработке деталей резанием точность обеспечивают по следующим квалитетам (СТ СЭВ 145—75): при наружной обработке: черновое точение — 12—13; чистовое точение — 11; черновое шлифование — 10; чистовое шлифование — 7; доводка — 6; при обработке внутренних поверхностей: сверление без кондуктора — 12—13; зенкерование и растачивание резцом — 12—13; сверление по кондуктору — 11; чистовое

зенкерование и чистовое растачивание — 11; черновое развертывание и шлифование — 10; протягивание, чистовое развертывание, чистовое шлифование и хонингование — 7; ручное развертывание и доводка — 6.

Приведенные данные являются средними, и в каждом конкретном случае технологические службы заводов должны решать вопросы экономической точности, исходя из местных условий, зависящих от состояния оборудования, режущего инструмента, качества оснастки, геометрической формы и материала деталей и др. Главными факторами, обуславливающими достижение заданной точности обработки, являются состояние технологического оборудования, строгое соблюдение сроков выполнения плано-предупредительного ремонта. Для особо точной обработки станкостроительная промышленность СССР выпускает так называемые прецизионные станки.

Большое влияние на точность обработки оказывает износ режущего инструмента. При применении немерного инструмента, например проходных резцов, цилиндрических или торцовых фрез, точность изготовления не влияет на точность обработки, размерный же износ при работе на настроенных станках оказывает влияние на точность обработки. На отклонения от заданной точности обработки влияют также качество оснастки и недостаточная жесткость технологической системы станок—приспособление—инструмент—деталь.

Рассмотрим пути достижения заданной точности обработки. Под технологической оснасткой подразумевают широкую номенклатуру приспособлений и инструментов для механической обработки деталей машин. Постепенный износ рабочих органов приспособлений обязывает вести систематическую проверку размеров установочных элементов и контроль за работой зажимных устройств.

Оснастка должна быть изготовлена по более высоким классам точности, чем обрабатываемые на них детали. При обработке по квалитетам 7—10 допуски на изготовление приспособлений принимают в размерах, составляющих $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$ допусков на размеры деталей. При обработке деталей по квалитету 11 приспособления надлежит изготовлять с допусками, имеющими значения $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{10}$ допусков на детали.

Деформацию деталей при обработке можно устранять следующими путями. Прежде всего необходимо не допускать превышения требуемых сил зажима длинных деталей в центрах станков. При обработке тонкостенных деталей зажим их в обычных кулачковых патронах вызывает недопустимые деформации. Во избежание таких явлений следует в необходимых случаях применять фасонные кулачки с большими площадями зажимных поверхностей, а также цанговые зажимы, разрезные втулки и т. п. Для устранения деформаций деталей, вызванных большими отношениями длины к диаметру, следует применять люне-

ты и обрабатывать детали резцами, имеющими значение главного угла в плане $\varphi = 75 \div 90^\circ$. Большие значения угла в плане φ в процессе резания приводят к значительному уменьшению радиальной составляющей R_r силы резания, а это снижает деформации деталей.

Для уменьшения величины тепловых деформаций необходимо детали подвергать соответствующей термической обработке. Однако следует учесть, что в процессе обработки деталь сильно нагревается. Для устранения этой причины деформации деталей следует применять равномерное охлаждение зоны резания, а кроме того — дифференцировать черновую и чистовую обработки партий деталей, учитывая при этом, что при черновой обработке имеет место более высокий нагрев деталей, чем при чистовой. Наконец, причиной, вызывающей деформации деталей, является недостаточная жесткость технологической системы.

§ 2. СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Как было указано выше, в массовом и серийном производстве для измерений обработанных деталей применяют предельные калибры. Они служат для контроля диаметров цилиндрических поверхностей.

Для контроля наружных поверхностей используют скобы, для внутренних — пробки. В мелкосерийном производстве применяют преимущественно универсальные инструменты в виде штангенциркулей, микрометров и т. п. Разновидностью универсальных инструментов являются регулируемые штихмассы, предназначенные для измерений отверстий, регулируемые скобы для измерений наружных поверхностей и пробки со сменными насадками. Поверхности измерительных инструментов должны иметь высокую износостойкость. С этой целью для их изготовления применяют легированные стали, подвергая их термической обработке, а также наносят на трущиеся поверхности защитные покрытия методами хромирования, азотирования, наплавки твердых сплавов и т. п.

При необходимости проверки деталей уникальных размеров используют специальные способы измерений. Отверстия диаметром от 0,2 до 5 мм измеряют пневматическим способом — по скорости истечения из них воздуха. Применяют также метод вставки в отверстия пучков калиброванных проволок.

Большие диаметры измеряют нутромерами и скобами сборного типа, оснащенными микрометрическими головками или индикаторами, а также применяют прием обтягивания контролируемого диаметра лентой с последующим определением диаметра по длине окружности.

Температурные погрешности измерений устраняются путем

установки измерительных инструментов по эталонам, нагретым до той же температуры, что и деталь.

Углы и конусы контролируют с помощью специальных шаблонов, конусных калибров, шаров, синусных и тангенсных линеек, микроскопов, оптических делительных головок, угломеров с нониусами и т. п. Весьма рациональным является измерение углов методом плиток. Эти плитки изготавливают в виде трехгранных или четырехгранных призм и применяют в виде наборов из 5, 19, 36, 94 штук. Рабочими поверхностями этих плиток служат грани призм, расположенные между собой под определенными углами. Прямые углы деталей проверяют угольниками. Размеры наружных и внутренних конусов деталей контролируют угломерами, имеющими нониусы или оптические приспособления. Для точных измерений конусности наружных и внутренних поверхностей применяют в первом случае калибр-штулку, а во втором — калибр-пробку соответствующих размеров.

В процессе контроля на проверяемые плоскости наносят мягким карандашом тонкую линию, затем надевают или вкладывают конусный калибр, поворачивают его в одном направлении и изучают распространение следа карандашной метки. При равномерном распространении этой метки считают, что проверяемая поверхность изготовлена качественно.

Точность резьбы проверяют путем контроля размеров наружного, среднего и внутреннего диаметров, шага и угла профиля. Измеряют детали типа болтов и гаек. Наружный диаметр болтов и внутренний диаметр гаек проверяют скобами и пробками или штангенциркулем и микрометром. Для измерения внутреннего и среднего диаметров болта служат специальные сменные насадки к резьбовым микрометрам для различных типов резьбы. Внутренний диаметр болта проверяют с помощью особых насадок к этим микрометрам, имеющих углы меньше углов резьбы. Распространенным способом контроля резьбы служит метод трех проволок. Этот метод служит для измерения резьбы высокой точности и заключается в следующем: во впадины резьбы закладывают калиброванные проволочки — две с одной стороны и одну с противоположной. Микрометром измеряют их наружный диаметр D . Затем, зная диаметр проволок d и шаг резьбы P , вычисляют средний диаметр резьбы

$$d_{\text{ср}} = D - 3d + 0,866 P.$$

Шаг резьбы проверяют специальными шаблонами, шагомерами с миниметрами. Форму и расположение поверхностей контролируют поверочными линейками, разметочными плитами и уровнями. При проверке линейками используют как визуальный метод, так и метод краски (обычно синьки). Сплошные следы краски на проверяемой плоскости, перенесенные с движущейся линейки, показывают высокое качество поверхности, а отдельные пятна свидетельствуют о низком качестве.

Для проверки угла взаимного расположения плоскостей применяют угловые линейки. Плиты используют также при контроле плоскостей деталей, которые служат базовыми поверхностями для установки на них оптиметров и т. п. Плиты изготавливают трех классов точности, причем третий класс определяет назначение плит как разметочных, а первый и второй — как поверочных.

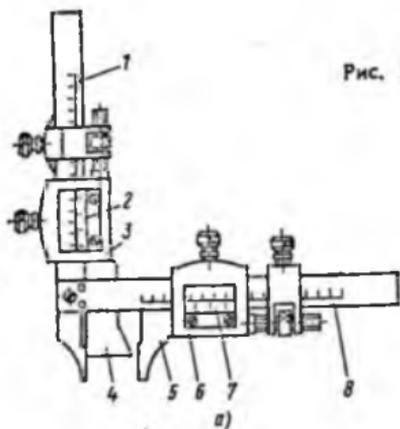
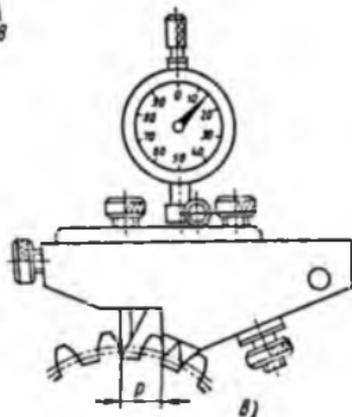
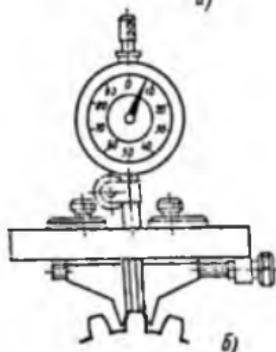


Рис. 2. Измерительные инструменты для зубьев шестерен



Одним из сложных методов контроля является измерение элементов зубчатых колес. Обычно в зубчатых колесах проверяют толщину зуба по делительной окружности, основной и делительный шаг, а также профиль зуба. Для измерений указанных элементов зубчатых колес применяют следующие инструменты. Штангензубомер (рис. 2, а) представляет собой две взаимно перпендикулярные штанги 1 и 8, имеющие цену делений 0,5 мм. Штанги оснащены губками 4 и 5, рамками 3 и 6, шкалами нониусов 2 и 7 с ценой делений 0,2 мм и микроподачами со стопорными винтами. Правильность расположения контура зубьев относительно наружного диаметра проверяют танген-

циальным зубомером (рис. 2, б). Шагомер, измеряющий шаг зубьев по методу обкатки, показан на рис. 2, в.

Кроме указанных приборов для контроля зубчатых колес применяют эвольвентомер, а также прибор для комплексной проверки. Конические и червячные колеса проверяют теми же приборами, что и цилиндрические. Винты червячных передач проверяют путем измерения среднего диаметра, угла наклона и шага резьбы. Средний диаметр проверяют способом трех роликов, аналогичным описанному выше методу трех проволочек. Шаг и профиль резьбы червяка измеряют с помощью специальных приспособлений, работающих по принципу измерений элементов зубчатых колес.

§ 3. МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

Точность обработки является одним из важнейших условий, обеспечивающих повышение ресурса работы машин. Однако трудоемкость измерений диктует необходимость изыскания способов механизации и автоматизации этих процессов. Для реализации таких задач на заводах массового и серийного производства внедрены контрольно-сортировочные автоматы, полуавтоматы и специальные контрольно-измерительные приспособления.

Контроль точности изготовления деталей осуществляется приборами для измерений в процессе их обработки, подразделяющимися на приборы, которые при достижении требуемых размеров детали автоматически отключают движение последней; приборы, регулирующие подналадку станка; приборы блокировочного назначения, отключающие механизм передачи детали на следующую операцию при нарушении требуемых размеров обработки.

Кроме перечисленных применяют также средства, основанные на статистических методах контроля. Эти способы позволяют контролировать точность обработки, вести подналадку технологического оборудования, а также осуществлять выборочную проверку готовых деталей. Приборы для этих целей работают во взаимосвязи с блокирующими или поднастраивающими устройствами.

Автоматические системы управления процессами обработки деталей или наладки оборудования называют системами активного контроля. Эти системы подразделяют на системы управления процессами по результатам измерений; системы управления регулированием по результатам измерений после обработки; системы регулирования по результатам измерений заготовок до обработки и комбинированные системы.

Система активного контроля в процессе обработки (рис. 3, а) представляет собой измерительный прибор 2, имеющий шкалу 3 и датчик 4. Обрабатываемая деталь 1 при изменении размеров, воздействуя на датчик 4, передает через усилитель 5 коман-

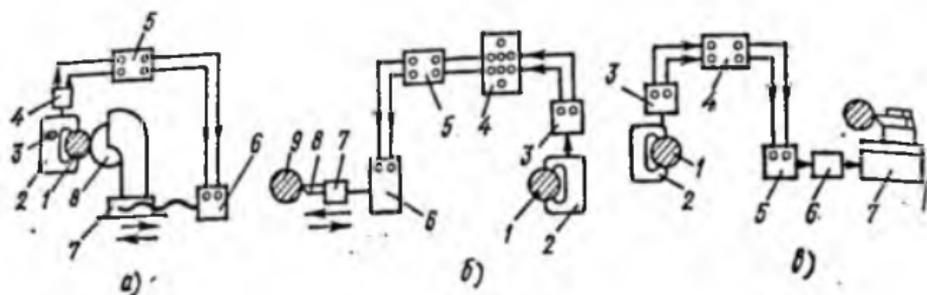


Рис. 3. Способы активного контроля:
 а — в процессе обработки; б — после обработки; в — до обработки

ду механизму 6, который оказывает воздействие на исполнительные органы станка 7 и 8.

Система активного контроля после обработки (рис. 3, б) состоит из устройства, предусматривающего воздействие обработанной детали 1 на измерительный прибор 2, связанный с датчиком 3 и усилителем 4, который воздействует на исполнительный механизм 5, регулятор 6, механизм 7. С их помощью перемещается режущий инструмент 8 в нужном направлении с учетом его износа по отношению к детали 9.

В системе активного контроля (рис. 3, в) измеряют заготовку 1 устройством 2 и через датчик 3, усилитель 4, механизм 5 изменяет на требуемую величину подачу в коробке передач 6 станка 7.

Систему, показанную на рис. 3, а, применяют на круглошлифовальных станках, работающих методом врезания с продольной подачей, а также на продольно-шлифовальных и копируемых станках. Систему, изображенную на рис. 3, б, применяют на бесцентрово-шлифовальных станках с продольной подачей, на токарных алмазно-расточных, зубофрезерных и зубошлифовальных станках. Система, приведенная на рис. 3, в, служит для автоматической наладки режущего инструмента и установления режимов резания. Комбинированные системы совмещают обычно две из приведенных систем.

Глава 4

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

§ 1. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ

Под качеством поверхности понимают состояние поверхностного слоя как результат воздействия на него одного или последовательного комплекса технологических методов. Оно харак-

теризуется шероховатостью, волнистостью и физико-механическими свойствами поверхностного слоя.

Шероховатость поверхностей является одним из важнейших параметров, влияющих на работоспособность деталей, сборочных единиц и изделий. Несоответствие требованиям, предъявляемым к шероховатости поверхностей, вызывает такие явления в эксплуатации машины, как преждевременный износ, коррозию, повышение силы трения, выход из строя деталей и узлов.

Другим признаком, характеризующим качество поверхности, являются физико-механические свойства поверхностного слоя, входящего в контакт с сопрягаемой деталью. Физико-механические свойства поверхностного слоя характеризуются его твердостью, структурными и фазовыми превращениями, величиной, знаком и глубиной распространения остаточных напряжений, деформацией кристаллической решетки. Этот показатель существенно влияет на ресурс и качество работы сборочных единиц машины. Следует подчеркнуть, что при выборе величины шероховатости и степени упрочнения поверхности следует учитывать, что эти параметры дадут положительный эффект лишь при своих оптимальных значениях. Шероховатость поверхностей регламентируется ГОСТ 2789—73 и 2309—73.

Реальный профиль — это профиль, который получается в результате сечения реальной поверхности плоскостью, ориентированной в заданном направлении, большей частью перпендикулярно следам обработки. Измеренный профиль представляет собой сечение измеренной поверхности плоскостью, имеющей заданную ориентировку к геометрической поверхности, и называется профилограммой.

Определение шероховатости поверхности должно предусматривать измерение шага и высоты неровностей на базовой длине l (рис. 4). После соответствующих измерений находят среднюю линию профиля, которая и служит основой для определения величины шероховатости поверхности. Эта линия пересекает профили шероховатостей таким образом, чтобы площади их были примерно равны, т. е.

$$F_1 + F_2 + \dots + F_{n+1} = F_2 + F_4 + \dots + F_n.$$

Просуммировав высоты вершин и впадин профиля поверхности по отношению к средней линии и разделив на количество

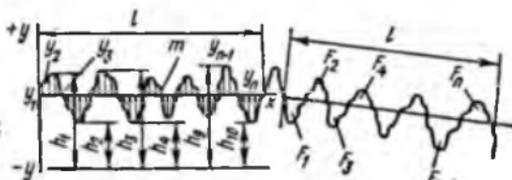


Рис. 4. Схема профиля поверхности

неровностей, находят среднее арифметическое отклонение профиля

$$Ra = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n}$$

или

$$Ra = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n},$$

где y_i — абсолютные значения расстояний до средней линии без учета алгебраического знака.

Для менее точных измерений шероховатости поверхности вводится другой критерий Rz — высота неровностей профиля по десяти точкам, т. е. сумма средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших минимумов и пяти наибольших максимумов профиля в пределах базовой длины:

$$Rz = \frac{(h_1 + h_2 + \dots + h_5) - (h_6 + h_7 + \dots + h_{10})}{5},$$

т. е. $Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 h_{i \max} - \sum_{i=1}^5 h_{i \min} \right).$

Согласно ГОСТ 2789—73 для обозначения шероховатости поверхности, которая должна быть образована с удалением слоя материала (например, точением, фрезерованием, сверлением, шлифованием, полированием, травлением и т. п.), применяют

знак $\sqrt{\quad}$ указанием значения параметра шероховатости. Для

обозначения шероховатости поверхности, которая должна быть образована без удаления слоя материала (например, литьем, ковкой, объемной штамповкой, прокатом, волочением и т. п.),

применяют знак $\sqrt{\quad}$. Для обозначения шероховатости поверх-

ности, вид обработки которой конструктор не устанавливает,

применяют знак $\sqrt{\quad}$.

§ 2. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ОТ СПОСОБОВ ЕЕ ОБРАБОТКИ

Управляя процессом формирования требуемых значений параметра шероховатости поверхности и необходимых свойств поверхностного слоя, можно получать заданные эксплуатацион-

ные характеристики деталей машин. Следует отметить, что шероховатость поверхности при необходимости получения высокого качества далеко не всегда должна приближаться к верхним предельным значениям. В то же время излишне малая шероховатость поверхности вызывает выдавливание смазки из зоны трения, что приводит к сокращению сроков службы деталей.

При оценке шероховатости во внимание принимается не только высота и форма микронеровностей, но также и характер расположения штрихов от режущего инструмента на обработанной поверхности детали. Форма микронеровностей влияет на несущую поверхность, определяющую износ и контактные деформации сопрягаемых деталей. В большинстве случаев узлы трения требуют постоянного наличия смазки, что обеспечивает их нормальную и длительную работу.

§ 3. СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Работоспособность, надежность и долговечность деталей машин в условиях эксплуатации во многом зависят от физико-механических свойств поверхностного слоя: твердости, износостойкости, усталостной прочности (выносливости) и др., а также от сопротивляемости коррозионному воздействию окружающей среды. Состояние и свойства поверхностного слоя имеют особое значение, потому что большей частью разрушение деталей начинается с поверхности, поэтому важное значение имеют способы повышения сопротивляемости поверхности детали тому или иному виду разрушения.

Упрочнение пластическим деформированием (наклепом). Сущность упрочнения поверхности металлических деталей пластическим деформированием заключается в том, что поверхностный слой металла уплотняют. При этом зерна металла пластически (т. е. без разрушения) деформируются, измельчаются, а в поверхностном слое возникают благоприятные остаточные напряжения сжатия.

Пластическое деформирование металла в холодном состоянии (в отличие от горячего деформирования) приводит к увеличению твердости и прочности материала поверхности. Это явление называют наклепом. Возникающие при наклепе поверхностных слоев деталей остаточные напряжения сжатия благоприятно влияют на сопротивление деталей машин усталостному разрушению, т. е. разрушению от циклических, многократно повторяющихся нагрузок.

В машиностроении применяют различные методы упрочнения поверхностей деталей пластическим деформированием: накатывание (обкатывание) и раскатывание, обработку дробью (дробеструйный наклеп), центробежно-шариковый наклеп, чеканку, выглаживание, поверхностное дорнование, протягивание и др. Схема основных видов поверхностного упрочнения мето-

дом пластического деформирования представлена на рис. 5. Поверхностное упрочнение деталей строительных и дорожных машин пластическим деформированием изложено в разделе III (гл. 1).

Термическое и термомеханическое упрочнение поверхностей. Термический способ упрочнения поверхностей металлических деталей основан на изменении свойств поверхностного слоя тер-

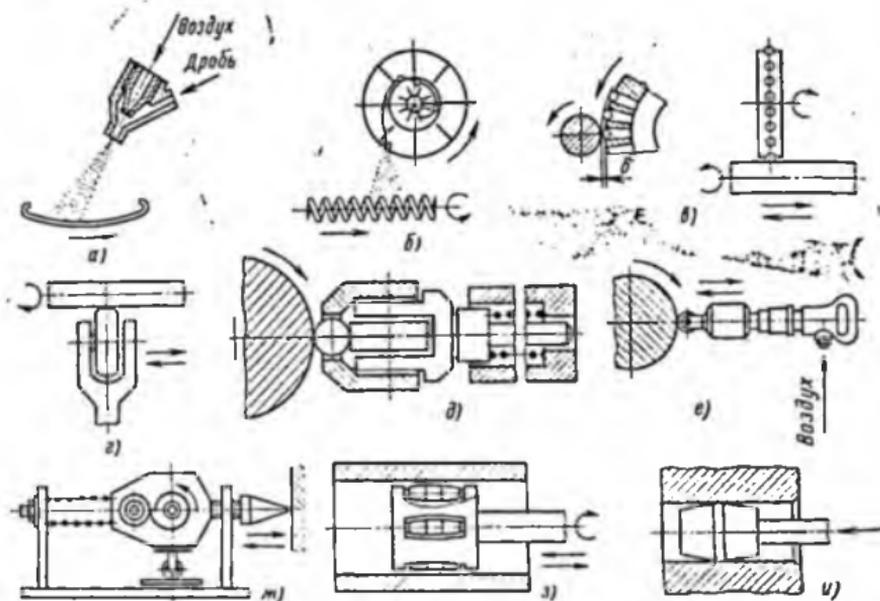


Рис. 5. Основные виды поверхностного упрочнения методом пластического деформирования:

а — пневматический наклеп; б — механический наклеп дробью; в — центробежно-шариковый наклеп; г — накатывание роликом; д — накатывание шариком; е — накатывание вибрирующим роликом; ж — наклеп механической чеканкой; з — раскатывание отверстия роликами; и — дорнирование

мическим воздействием на металл (нагрев и охлаждение), в результате которого в металле происходят структурные превращения.

Известны следующие виды термического упрочнения поверхности деталей: поверхностная закалка с индукционным нагревом токами высокой частоты (закалка ТВЧ); поверхностная закалка с нагревом газовым пламенем; поверхностная закалка с нагревом в электролите.

Поверхностная закалка обеспечивает высокую твердость поверхностного слоя детали и сохраняет вязкость ее внутренних слоев, что способствует повышению общей прочности за счет повышения предела усталости. Наибольшее распространение в

промышленности из перечисленных видов поверхностной закалки получила закалка с нагревом ТВЧ.

Поверхностная закалка с нагревом ТВЧ. При закалке с нагревом ТВЧ высокую твердость и новую структуру получает поверхностный слой детали, а сердцевина сохраняет исходные твердость и структуру. Высокочастотная поверхностная закалка является наиболее производительным и прогрессивным методом термической обработки. Она имеет следующие основные преимущества: высокая производительность и экономичность по сравнению с другими процессами поверхностного термического упрочнения; отсутствие обезуглероживания и заметного окисления поверхности детали; уменьшение деформаций деталей; возможна комплексная механизация и автоматизация процесса термической обработки, ее можно включить в поточную линию механического цеха; более высокие механические свойства стали, чем после обычной закалки.

Токи высокой частоты, используемые при поверхностной закалке, это переменные токи, имеющие частоту более 2000 Гц. Применение токов высокой частоты для нагрева при поверхностной закалке основано на так называемом поверхностном эффекте, сущность которого заключается в том, что при прохождении переменного тока по проводнику (изделию) он протекает преимущественно в поверхностном слое, причем чем выше частота тока, тем на меньшую глубину от поверхности детали он проникает. Установка для высокочастотной закалки (рис. 6) состоит из генератора 3 высокой частоты, высокочастотного трансформатора 4, конденсаторной батареи 5, нагревательного индуктора 2 и приспособления для закалки (охлаждения), автоматического устройства для управления циклом обработки и контроля температуры.

Для получения токов высокой частоты применяют машинные и ламповые генераторы (преобразователи тока). Машинные генераторы обычно имеют мощность 100—500 кВт. Такие генераторы вырабатывают ток с частотой от 500 до 8000 Гц. Их как правило, используют при поверхностной закалке крупных изделий для получения сравнительно глубоких закаленных слоев. Ламповые генераторы обычно имеют меньшую мощность (от 1,5 до 300 кВт) и создают ток частотой от 10^5 до 5×10^6 Гц и выше. Их ис-

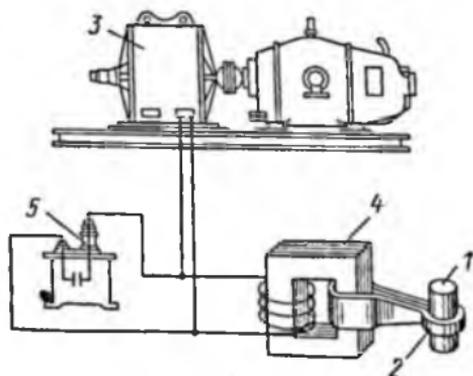


Рис. 6. Схема установки для высокочастотной закалки

пользуют для закалки на небольшую глубину (1—2 мм) многих мелких деталей и инструментов.

На практике чаще всего для изделий диаметром менее 80 мм при толщине закаленного слоя до 2 мм применяют ток частотой 300 000 Гц с питанием от лампового генератора; для изделий диаметром 150—500 мм при толщине закаленного слоя свыше 2 мм применяют ток частотой 2000 Гц с питанием от машинного генератора; для изделий диаметром более 200 мм при толщине закаленного слоя 8—10 мм можно применять обычный ток с частотой 50 Гц с питанием от промышленной сети.

Для нагрева поверхности детали до нужной температуры при закалке токами высокой частоты используют физическое явление, называемое электромагнитной индукцией. При закалке ТВЧ нагреваемое изделие помещают внутрь так называемого индуктора, представляющего собой медный виток, по которому проходит переменный электрический ток высокой частоты большой силы (в несколько тысяч ампер) и низкого напряжения. Этот ток создает вокруг проводника (изделия) сильное переменное магнитное поле, которое индуктирует (возбуждает) в нем вторичные короткозамкнутые (так называемые вихревые) токи. Вследствие поверхностного эффекта индукционные вихревые токи сосредотачиваются только на поверхности стального изделия, а так как сталь обладает высоким сопротивлением, поверхность ее нагревается. Чтобы сам индуктор не нагревался, через него пропускают воду. Таким образом, нагрев детали на закалочной установке ТВЧ осуществляется электрическими токами, возникающими в самой детали. Индуктор служит лишь для того, чтобы возбудить эти токи. Индукторы могут быть из нескольких витков и из одного витка, охватывающего нагреваемую деталь. При закалке отдельных участков или плоскостей индукторы делают в виде петель, рамок и т. д. В каждом конкретном случае размеры и форму индуктора устанавливают в зависимости от размера и формы нагреваемых деталей.

Многовитковый индуктор (рис. 7, а) применяют для закалки цилиндрических деталей; одновитковый индуктор (рис. 7, б) — для нагрева под напайку резцов с пластинами из быстрорежущей стали или твердого сплава; индуктор в виде плоской петли (рис. 7, в) — для закалки плоских поверхностей.

Для получения твердого и износостойкого поверхностного слоя на установке ТВЧ после нагрева стальной детали до необходимой температуры (выше верхней критической точки A_{c3}) и глубины ток выключают, а нагретую деталь интенсивно охлаждают струей жидкости (обычно воды). Охлаждающая жидкость обычно подается через отверстия на внутренней стенке индуктора. По окончании охлаждения подача жидкости автоматически прекращается. В результате закалки ТВЧ поверхностный слой детали приобретает структуру мелкокристаллического мартенсита с высокой твердостью и прочностью.

Для снятия внутренних напряжений, которые могут быть причиной возникновения микротрещин или коробления, деталь после закалки ТВЧ подвергают низкому отпуску с нагревом до температуры 150—200° С, а чаще всего — самоотпуску (т. е. отпуску с использованием тепла самой нагретой детали, если ее не охлаждать до конца).

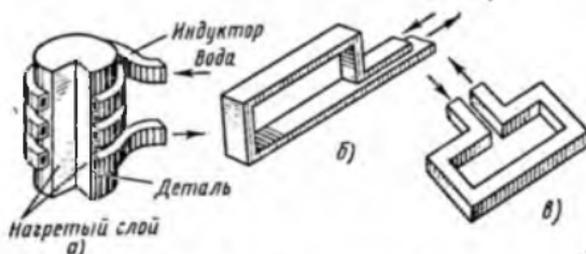


Рис. 7. Виды индукторов

В зависимости от формы и размеров деталей, а также от глубины упрочненного слоя существует одновременная, непрерывно-последовательная и последовательная закалка ТВЧ отдельных участков поверхности.

Одновременной высокочастотной поверхностной закалке подвергают небольшие изделия. При этом способе одновременно нагревают всю подлежащую закалке поверхность, а затем изделие целиком охлаждают. Такой способ пригоден при поточном производстве одинаковых изделий, например метчиков, калибров и т. п., с автоматической регулировкой времени и температуры нагрева. На рис. 8, а приведена схема одновременной закалки. Вся поверхность закаливаемой детали 2 находится в зоне действия индуктора 1 и нагревается одновременно. Деталь в индукторе должна вращаться для того, чтобы ее поверхность нагревалась равномерно. По окончании нагрева реле времени отключает индуктор от генератора, и включается водяной душ, который охлаждает всю деталь одновременно. Способ одновременной закалки ТВЧ — высокопроизводительный, но его применение ограничивается мощностью генератора.

Непрерывно-последовательный способ применяют при закалке деталей значительной длины, например валов (рис. 8, б). Вал 1 вращается вокруг вертикальной оси и перемещается внутри индуктора 2 сверху вниз, последовательно проходя через зоны нагрева и охлаждения закалочного устройства (спрейера) 3, к которому по шлангу 4 подается вода. На рис. 8, в дана схема непрерывно-последовательной закалки стальных плит 2, которую осуществляют с помощью плоских индукторов 1 и охлаждающего устройства 3.

Методом *последовательной закалки ТВЧ* закалывают отдельные части изделия. В этом случае закалываемая поверхность нагревается и охлаждается по частям, например, отдельно каждая шейка коленчатого вала, каждый зуб шестерни и т. д. На рис. 8, г приведена схема последовательной закалки зубчатого венца (так называемая *позубная закалка*). Зубья шестерни 2 нагреваются индуктором 1.

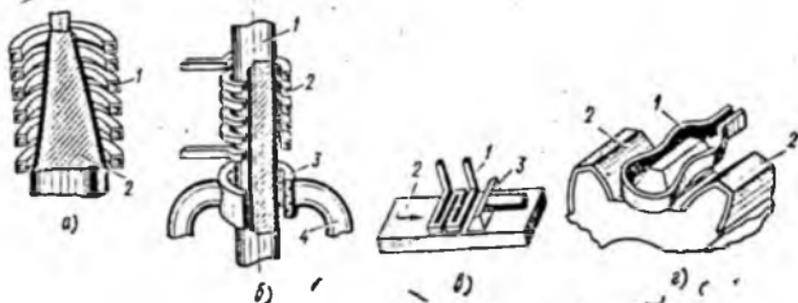


Рис. 8. Способы закалки токами высокой частоты:

а — одновременный; б и в — непрерывно-последовательный; г — последовательный

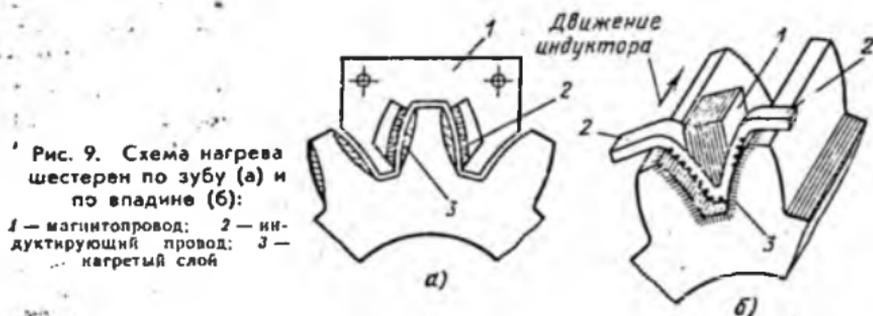
Поверхностной закалке ТВЧ подвергают преимущественно изделия из углеродистых и низколегированных сталей с содержанием углерода 0,4% и выше. В деталях из сталей с меньшим содержанием углерода поверхностный слой не получает необходимой твердости. Изделия из легированных сталей реже подвергаются поверхностной закалке, так как высокая прокаливаемость здесь не требуется.

Наиболее широкое применение закалка с нагревом ТВЧ получила для упрочнения зубчатых колес. При этом в зависимости от размеров шестерен, величины модуля зуба, а также от технических требований, предъявляемых к ним по условиям эксплуатации, применяют различные способы поверхностной закалки. Эти способы различают по методам нагрева: закалка венца шестерни со сквозным прогревом зубьев; закалка с нагревом только контактных поверхностей зуба (закалка по зубу) или с нагревом контактных поверхностей и впадины одновременно (закалка по впадине); закалка по контуру шестерни, когда закаленный слой располагается по всей поверхности зуба.

Закалку венца шестерни со сквозным одновременным прогревом зубьев применяют в тех случаях, когда шестерни слабо нагружены и нет опасения, что наковозь прокаленный зуб в процессе эксплуатации сломается. Это, как правило, тихоходные зубчатые колеса, эксплуатируемые при сравнительно малой окружной скорости (до 3 м/с) и имеющие малый модуль зацеп-

ления ($m=1\div 4$ мм). Способ сквозного нагрева применяют также при закалке цементованных шестерен, изготовленных из малоуглеродистой стали. В этом случае, несмотря на сквозной прогрев зуба, закаливается только цементированный слой.

Высокочастотный нагрев при закалке шестерен из конструкционной или цементуемой стали со сквозным прогревом зубчатого венца имеет преимущества по сравнению с обычной закалкой с нагревом в печах или ваннах, а именно лучшие эконо-



мические показатели (высокую производительность, сокращение расхода электроэнергии и т. п.), а также малую деформацию шестерни, так как ступица шестерни при высокочастотном нагреве остается холодной. Последнее обстоятельство может оказать решающее влияние на выбор технологии с применением поверхностного индукционного нагрева.

Шестерни большого модуля ($m \geq 8$ мм), которые обычно являются и большими по размерам, закалывать со сквозным прогревом зуба и обода затруднительно, так как для этого прежде всего требуются значительные мощности тока высокой частоты. Кроме того, при таком методе нагрева трудно получить равномерную температуру зуба и впадины, поэтому для крупномодульных шестерен применяют последовательную закалку зуб за зубом или впадина за впадиной (рис. 9).

При закалке по зубу индуктор петлевого типа охватывает зуб шестерни таким образом, что активный провод располагается вдоль рабочей (боковой) поверхности зуба, которая прогревается в первую очередь. Недостатком способа закалки по зубу является то, что закаленный слой обрывается у основания зуба (рис. 10, а) в зоне, где имеет место концентрация вредных растягивающих остаточных напряжений. Прочность и выносливость зуба снижается, поэтому таким способом можно закалывать лишь не сильно нагруженные шестерни.

Для закалки тяжело нагруженных крупномодульных шестерен разработаны способы, обеспечивающие нагрев и закалку боковых поверхностей зубьев и впадины (закалка по впадине,

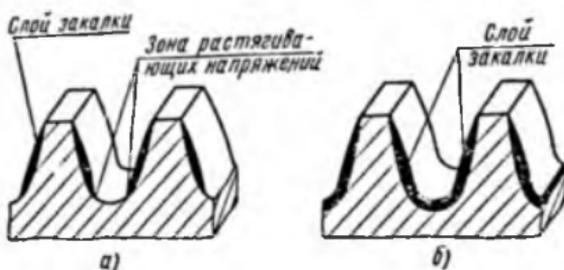


Рис. 10. Распределение закаленного слоя у шестерен при закалке ТВЧ по зубу (а) и по впадине (б)

рис. 10, б). В этом случае закаленный слой охватывает как боковые поверхности зубьев, так и впадины, что значительно повышает усталостную прочность зубчатого колеса вследствие больших благоприятных сжимающих остаточных напряжений, возникающих в поверхностном слое по всему контуру зуба.

Прогрессивным методом является *контурная закалка* зубчатых колес среднего ($m=3,5\div 6$ мм) и крупного ($m\geq 8$ мм) модулей при непрерывно-последовательном нагреве ТВЧ по впадине под слоем охлаждающей жидкости. Этот метод предусматривает нагрев ТВЧ рабочих поверхностей зубьев и впадин посредством индуктора специальной конструкции, перемещаемого вдоль впадины зуба под слоем охлаждающей жидкости (воды или эмульсии). Конструкция индуктора упрощается, так как не требуется специальный подвод жидкости для его охлаждения, а качество закаленных данным методом зубчатых колес повышается, поскольку значительно уменьшается их деформация и устраняется брак по трещинам во впадинах зубьев.

Отраслевым институтом ВПТИстройдормаш сконструированы и внедрены в производство полуавтоматические станки для контурной закалки зубчатых колес среднего и крупного модулей под слоем жидкости. Станки изготовляли двух типоразмеров. Станок для закалки цилиндрических прямозубых колес модулем 4—12 мм, диаметром 60—600 мм и шириной до 200 мм, а также косозубых цилиндрических колес с углом наклона зуба не свыше 30° и станок для закалки цилиндрических прямозубых колес модулем от 8 мм и выше, диаметром 200—1000 мм с питанием от лампового и машинного генераторов.

Контурная закалка ТВЧ зубчатых колес на станке ВПТИстройдормаш осуществляется следующим образом. Зубчатое колесо надевают на оправку и устанавливают в направляющую станка. Индуктор, закрепленный на подвижном трансформаторе, подводят к впадине между зубьями, проверяют зазоры между индуктором, боковыми поверхностями зубьев и впадиной; зазор при этом должен быть не более 0,8—1,0 мм. После настройки и проверки зубчатого колеса поднимают бак с охлаждающей жидкостью так, чтобы зубчатое колесо с индуктором полностью были покрыты ею, и начинают закалку. Во время

закалки индуктор последовательно перемещается вдоль впадины, нагревая ее и боковые поверхности зубьев. После закалки одной впадины зубчатое колесо автоматически поворачивается на один зуб, индуктор подается к следующей впадине и т. д. После закалки бак опускается, закаленное зубчатое колесо снимают, на его место устанавливают следующее, бак снова поднимается и т. д.

Таким образом, сам процесс закалки зубчатых колес по контуру происходит полностью в автоматическом цикле, лишь снятие и установку деталей производят вручную. Закаленный слой равномерно распределяется по контуру зубьев на глубину 2—3 мм, твердость HRC 47—52. После закалки зубчатые колеса подвергают низкому отпуску.

На предприятиях строительного, дорожного и коммунального машиностроения индукционный нагрев токами высокой частоты при термической обработке различных деталей машин находит все более широкое применение. На многих заводах отрасли освоены и успешно применяют технологические процессы закалки с нагревом ТВЧ зубчатых колес, валов, втулок, роликов, пальцев звеньев гусениц, ножей землеройных машин, катков, зубьев ковшей экскаваторов и многих других деталей.

Ниже в качестве примера приведен технологический процесс термической обработки с нагревом ТВЧ зубчатого венца $z=96$, $m=4$, материал сталь 55.

1. Закалка рабочей поверхности зубьев по контуру на твердость HRC не менее 50 при глубине слоя 0,8—1,2 мм:

- а) очистить детали от заусенцев, стружки и грязи;
- б) установить венец с помощью крана-укосины ($Q=5$ кН) на базовые ролики специального станка для закалки ТВЧ;
- в) установить индуктор и охладители;
- г) ввести фиксаторы во впадину зуба;
- д) установить с помощью шупа зазор между индуктором и впадиной зуба 0,3—0,4 мм; между вершиной зуба и охладителем — 0,5—0,6 мм (при настройке на партию деталей);
- е) установить кулачки ограничения хода каретки таким образом, чтобы индуктор выходил из впадины зуба 2—3 мм;
- ж) установить кулачки включения и выключения нагрева таким образом, чтобы выключение происходило при выходе $1/2$ индуктора из впадины, а включение — при входе $1/2$ индуктора во впадину;
- з) отрегулировать механизм деления венца так, чтобы деление производилось на один зуб с допуском $\pm 0,5$ мм;
- и) установить на РСИ цифру 96 (число впадин) и включить его;
- к) установить с помощью реостата требуемую скорость перемещения каретки (4 мм/с), несущей трансформатор с индуктором;
- л) поднять закалочный бак с эмульсией, имеющей температуру 30—50°С;
- м) установить электрические параметры лампового генератора ТВЧ ЛЗ-2-67;
- н) включить автоматический цикл закалки на время 34 мин; $t = 840 \div 880^\circ\text{C}$;
- п) после конца цикла закалки опустить закалочный бак, снять храним-укосяной венец со станка и установить на контейнер.

2. Контроль:

- а) твердости — 100%-ный, тарированным напильником, HRC более 50;
- б) на отсутствие трещин и прижогов — визуалью.

3. Отпуск в электропечи СШЗ=10.10/7-БЗ до HRC 45—50, время выдержки 180 мин при $t=230\div 320^\circ\text{C}$, охлаждение на воздухе:

- а) с помощью мостового крана ($Q=50\text{ кН}$) уложить венец в контейнер для отпуска (в контейнере помещается 17 венцов);
- б) загрузить контейнер с венцами в печь;
- в) произвести нагрев и выдержку;
- г) разгрузить печь.

4. Контроль:

- а) твердости — 100%-ный, тарированным напильником;
- б) в ЦЗЛ согласно графику для проверки твердости, глубины закаленного слоя и структуры.

Поверхностная закалка с газопламенным нагревом. Этот метод поверхностной закалки заключается в нагреве участка детали, подлежащего закалке, газокислородным или газовоздушным пламенем до температуры закалки, с последующим быстрым охлаждением. Глубину закаленного слоя этим методом можно получить от 1 до 6 мм при твердости поверхности стальных деталей HRC 50—56. Закалке с газопламенным нагревом подвергают детали, изготовленные из среднеуглеродистой ($C=0,4\div 0,5\%$) и легированной сталей, а также из серого и ковкого чугуна, содержащего 0,25—0,85% связанного углерода. Достоинствами метода являются: возможность поверхностной закалки отдельных участков деталей с целью их упрочнения (зубья шестерен, шейки валов, ходовые дорожки крановых колес, направляющие станин металлорежущих станков и т. п.); простота, портативность и дешевизна оборудования (установок) для газопламенной закалки; легкость выполнения операции закалки; минимальное коробление и отсутствие окисления поверхности после закалки; возможность получения однородного закаленного слоя с постепенным изменением твердости по глубине; возможность поверхностной закалки крупногабаритных деталей.

Недостатками метода являются трудность контроля и регулирования температуры нагрева поверхности детали, а также термической обработки деталей сложной формы.

Принципиальная схема поверхностной закалки представлена на рис. 11. Газовая горелка 1 движется с определенной скоростью над поверхностью детали и нагревает ее. За горелкой с той же скоростью движется трубка 2, через которую подается охлаждающая жидкость (чаще всего вода). Для получения

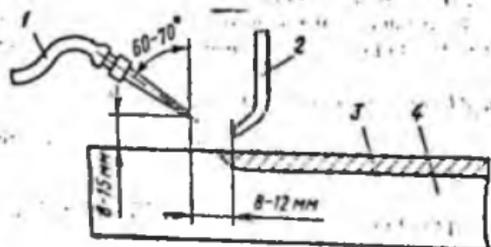


Рис. 11. Схема поверхностной закалки газопламенным;
1 — горелка; 2 — трубка для охлаждающей воды; 3 — закаленный слой; 4 — незакаленная сердцевина

пламени можно применять различные горючие газы. Чаще всего применяют ацетилен, так как он обеспечивает высокую температуру пламени и интенсивный нагрев деталей. Профиль газовой горелки должен соответствовать профилю закаливаемой детали. Для этой цели используют обычные сварочные горелки с набором наконечников различной формы (рис. 12). Газопламенную закалку осуществляют циклическим или непрерывным методом.

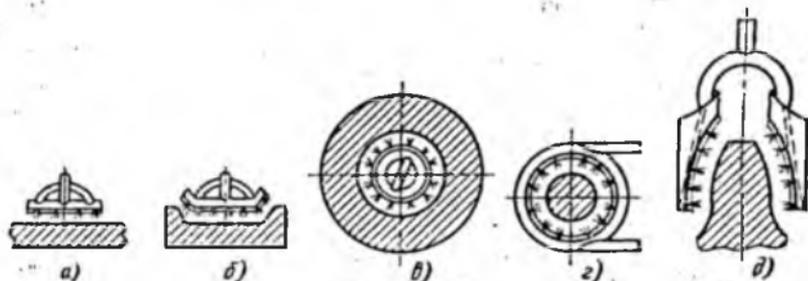


Рис. 12. Формы наконечников для закалки газокислородным пламенем: а — плоский; б — для полутавровой поверхности; в — для закалки внутренних поверхностей; г — для цилиндрических тел; д — для закалки одного зуба зубчатого колеса

При циклическом методе закалки нагревается одновременно вся подлежащая закалке поверхность детали, а после окончания нагрева всю поверхность охлаждают с помощью специального разбрызгивателя. Таким способом осуществляют поверхностную закалку зубьев звездочек, кулачков, токарных центров, концевых инструмента, шеек и цапф валов и осей, зубчатых колес и др.

При непрерывном методе горелка и деталь перемещаются относительно друг друга, и прикрепленный к горелке разбрызгиватель (спрейер) непрерывно, участок за участком, охлаждает нагретую пламенем горелки поверхность детали. Таким способом закалывают поверхности направляющих станин, бандажей, ходовых колес, опорных колец, роликов, ножей и др.

Наконечники горелок в процессе газопламенной закалки располагают на расстоянии 6—8 мм от закаливаемой поверхности. При этом ядро пламени должно отстоять на 2—3 мм от поверхности детали. Глубину закалки можно регулировать изменением мощности пламени горелки и скорости ее перемещения.

Для поверхностной закалки, как правило, используют горелки трех видов: для обработки плоских поверхностей, зубчатых колес и сложных поверхностей. Отечественная промышленность выпускает различные закалочные газопламенные горелки, например, кислородно-ацетиленовые НАЗ-55, кислородно-кероси-

новые ГКЗ-1-58, кислородно-пропановые ГЗЗ-1-57, кислородно-газовые ГЗЗ-57 и др.

Процесс газопламенной закалки можно легко автоматизировать и включить в общий поток механической обработки. Для крупных деталей этот способ закалки более рентабелен, чем закалка с индукционным нагревом ТВЧ. В индивидуальном и мелкосерийном производстве газопламенную закалку применяют для упрочнения таких крупных и тяжелых стальных деталей, как коленчатые валы, крупномодульные зубчатые колеса, зубья ковшей экскаваторов, направляющие станин металлорежущих станков и т. д. Температуру нагрева поверхности детали и глубину закаленного слоя при газопламенной закалке регулируют изменением состава и расхода газовой смеси, расстоянием горелки от детали и относительной скоростью движения горелки и детали.

В мелкосерийном производстве в качестве закалочных машин часто применяют станки для механической обработки, а для оснастки газовых сетей — серийную газосварочную аппаратуру. В частности, токарный станок позволяет осуществлять прямолинейное движение газовой горелки, закрепленной на суппорте, и вращательное движение детали. В серийном и массовом производствах газопламенная поверхностная закалка возможна лишь при использовании специальных механизированных и автоматизированных станков. Оснащение этих станков приборами, автоматически регулирующими процесс нагрева по заданному режиму, позволяет применять газопламенную поверхностную закалку вместо индукционной ТВЧ.

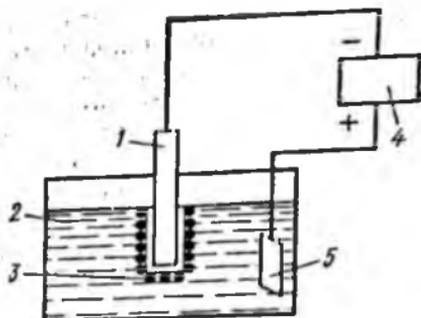
Детали, прошедшие газопламенную закалку, подвергают низкому отпуску при температуре 180—200°С для снятия внутренних напряжений. Можно применять и самоотпуск. После отпуска производят окончательную механическую обработку (доводку и шлифование).

Наиболее широко упрочнение закалкой с газопламенным нагревом применяют при изготовлении зубчатых колес. Газопламенной поверхностной закалке до твердости HRC 50—56 подвергают зубчатые колеса, изготавливаемые из сталей 45, 50, 40Х, 40ХН. Предварительно зубчатые колеса проходят общую термическую обработку (нормализацию или улучшение) для повышения механических свойств исходного материала (сердцевины) и получения мелкозернистой структуры, необходимой для обеспечения качественной закалки поверхностного слоя.

Закаленный слой при нормальном режиме газопламенной закалки обладает мелкокристаллической мартенситной или трооститомартенситной структурой с плавным переходом к незакаленной части детали. Для газопламенной закалки мелко- и среднемодульных зубчатых колес (с модулем до 8 мм) при быстром вращении применяют специализированную установку УГЗ-1-58. Она состоит из пульта управления, закалочного станка и бака

Рис. 13. Схема поверхностной закалки с нагревом в электролите:

1 — деталь (катод); 2 — электролит; 3 — пузырьки водорода; 4 — источник тока; 5 — анод



для закалки. Зубья шестерен небольшого модуля (до 4 мм) на этой установке прокаливаются насквозь на одну и ту же твердость. Зубья шестерен модуля до 6—8 мм закалывают до высокой твердости (HRC 55—60) только по контуру, что очень важно для зубчатых колес, работающих в условиях знакопеременных и ударных нагрузок.

Изменения размера зуба и самого колеса при газопламенной закалке незначительны, поэтому дополнительное шлифование зубьев после такой закалки в большинстве случаев не требуется.

Поверхностная закалка с нагревом в электролите. Сущность этого метода заключается в следующем (рис. 13). Если в электролит 2 (раствор в воде щелочи, поваренной соли) в качестве катода поместить стальную деталь 1, то при пропускании через электролит постоянного тока напряжением 250—300 В на катоде будет выделяться пузырьки водорода, образуя на поверхности детали (катода) сплошную водородную рубашку. Водородная рубашка, обладая высоким электросопротивлением, быстро нагревается до высокой температуры (около 2000° С) и передает тепло детали. Поверхность детали за несколько секунд разогревается до температуры закалки. Если ток выключить, водородная рубашка исчезает и деталь закаливается в самом электролите. Можно также разогретую деталь перенести в специальную закалочную ванну. В качестве электролита обычно применяют 5—10%-ные водные растворы углекислых солей натрия и калия.

Данным методом можно производить сквозной и поверхностный нагрев деталей. При закалке с нагревом в электролите происходит глубокий прогрев поверхностного слоя и плавный спад температуры по сечению нагреваемой детали. Таким образом можно снизить остаточные растягивающие напряжения в металле и предотвратить образование закалочных трещин. Закаленный слой состоит из мартенсита, а сердцевина имеет сорбитообразный перлит и феррит.

Закалка в электролите отличается высокой производительностью, детали почти не окисляются и не деформируются, процесс закалки может быть автоматизирован. Эти особенности создают условия для применения закалки в электролите в массовом производстве.

Недостатками метода закалки в электролите является сложность измерения и контроля температуры нагреваемой поверхности, ограничен ассортимент деталей, поддающихся закалке, необходимо предохранять детали от коррозии, а также трудно поддерживать постоянный состав электролита, определяющий качество закалки. Глубина закаленного слоя при закалке по данному методу зависит от состава электролита и продолжительности нагрева.

В серийном и массовом производстве применяют автоматы типа АЭ для концевых и последовательного нагрева в электролите различных деталей (клапанов, валов, пальцев и др.). Например, на Алма-Атинском литейно-механическом заводе на XXIII съезде КПСС успешно эксплуатируют автоматы АЭ-17 для поверхностной закалки с нагревом в электролите поршневых пальцев из стали марки 50. Автомат АЭ-17 рассчитан на использование в автоматических линиях.

В автотракторной промышленности для поверхностной закалки втулок звеньев гусениц из стали 58 (55пп) применяют автомат АЭ-36. Как показали стендовые испытания, износостойкость втулок и пальцев из стали 55пп, упрочненных закалкой в электролите более чем в 2 раза выше износостойкости аналогичных деталей, ранее изготовлявшихся из стали 20Х и подвергавшихся цементации и закалке.

Особенностью метода закалки в электролите является необходимость применения специальных устройств (выпрямителей, ванн, экранов, регулирующей аппаратуры и др.) и работа при повышенных напряжениях 200—300В; сила тока при этом составляет 40—1400А. Для обеспечения техники безопасности большинство установок для нагрева в электролите представляют собой полуавтоматические или автоматизированные устройства, исключающие необходимость и возможность доступа оператора к рабочей зоне во время протекания процесса. Эти установки предназначены в основном для массового или крупносерийного производства.

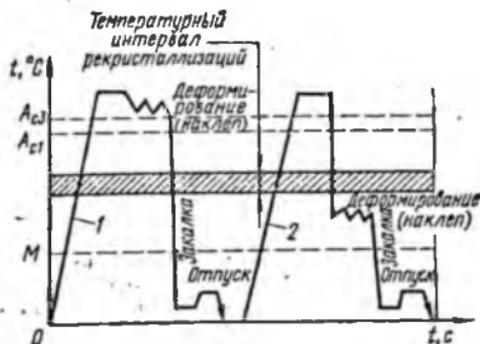
Метод нагрева в электролите применяют для закалки поршневых пальцев, валов, ободьев, колес, звеньев гусениц, а также инструмента — сверл, метчиков, разверток и др.

Термомеханическое упрочнение деталей. Термомеханическое упрочнение металлических деталей заключается во взаимном воздействии на металл температуры и пластической деформации для получения такой структуры металла, при которой благодаря высокой плотности дислокаций деталь приобретает комплекс высоких механических свойств (высокую твердость и прочность при сравнительно высоких пластичности и вязкости).

Наиболее известны следующие виды термомеханического упрочнения металлических (главным образом стальных) деталей: термомеханическая обработка (ТМО) и электромеханическое упрочнение (ЭМУ).

Термомеханическая обработка стальных деталей. Термомеханическая обработка (ТМО) является новым методом упрочнения стали. Одной из особенностей этого метода обработки является одновременное повышение прочности и пластичности, что обеспечивает надежность конструкций. Термомеханической обработкой стали называют совокупность операций нагрева, деформации, закали и отпуска, в результате которых формирование микроструктуры, а следовательно, и свойств стали происходит

Рис. 14. Принципиальная схема термомеханической обработки сталей:
1 — ВТМО; 2 — НТМО



в условиях повышенной плотности и соответствующего распределения дислокаций (линейных несовершенств кристаллического строения), созданных наклепом и мартенситным превращением.

В настоящее время принято подразделять термомеханическую обработку стали на обработку с применением деформирования (наклепа) при температуре выше порога рекристаллизации — высокотемпературную термомеханическую (ВТМО) и обработку, когда деформация стали осуществляется в температурной области ниже порога рекристаллизации, — низкотемпературную термомеханическую (НТМО).

Наклеп при ВТМО (рис. 14) стали осуществляется при температуре, соответствующей области устойчивого аустенита (выше критической точки A_{c3}), а деформация при НТМО — в температурной области метастабильного аустенита (ниже критической точки A_{c1} , но выше точки мартенситного превращения M).

Термомеханическую обработку можно проводить при различных схемах деформации. На рис. 15, а приведена схема прокатки в валах 1 и 2 нагретой заготовки 3, перемещаемой со скоростью нескольких метров в минуту в зону интенсивного охлаждения 4. Для охлаждения может быть использовано спрейное устройство, аналогичное применяемому для проведения непрерывно-последовательной поверхностной закали

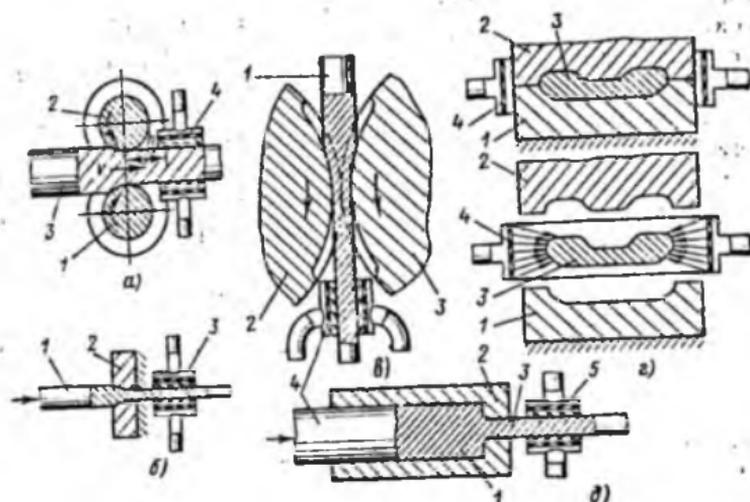


Рис. 15. Схемы основных видов пластической деформации при проведении ТМО

а — прокатка; *б* — волочение; *в* — обработка в ковочных вальцах; *г* — штамповка; *д* — выдавливание (экструзия)

после нагрева ТВЧ. Расстояние h зависит от скорости перемещения заготовки, температурного режима и других факторов.

При осуществлении ТМО в процессе волочения (рис. 15, б) заготовка 1, проходя через фильеру 2, попадает в зону охлаждения 3. Пластическая деформация в ковочных вальцах для проведения ТМО (рис. 15, в) заключается в том, что заготовка 1 обжимается в вальцах 2 и 3 и подается в зону охлаждения 4.

Таким образом можно изготавливать с одновременным проведением ТМО детали сложной формы.

Проведение ТМО при штамповке (рис. 15, г) осложняется из-за трудности подбора оптимальных скоростей движения элементов штампа 1 и 2, температуры нагрева и степени деформации заготовки 3, а также необходимости осуществлять быстрое охлаждение с помощью спрейера 4 после завершения обработки давлением.

При деформировании методом экструзии (выдавливания) ТМО осуществляют следующим образом. Обрабатываемую заготовку 1 (рис. 15, д) помещают в матрицу 2, откуда ее продавливают через отверстие 3 требуемой конфигурации пуансоном 4. Выдавленная деталь интенсивно охлаждается устройством 5.

Наиболее широко распространенным и легко осуществимым видом термомеханической обработки является ВТМО. Результаты ВТМО зависят от химического состава стали, температуры

и степени обжатия при горячей пластической деформации, условий и качества последующей закалки, температуры и длительности отпуска.

Наилучшее сочетание прочности и пластичности, сохранение формы и размеров изделий при ВТМО могут быть достигнуты при обработке воздушно закаливаемых сталей. При практическом осуществлении ВТМО для многих изделий из конструкционной стали наибольшая технологичность и достаточный технический эффект достигаются при степени обжатия до 25%.

Значительное повышение механических свойств стали при ТМО достигается благодаря тому, что пластическая деформация аустенита сопровождается раздроблением его зерен, а последующая закалка предотвращает протекание рекристаллизационного процесса. Мартенситная структура стали после ТМО является более дисперсной; прочность по границам зерен возрастает, что обеспечивает существенное повышение механических свойств стали и весьма выгодное сочетание ее прочностных и пластических характеристик. Следовательно, повышая ТМО механические свойства стальных деталей, можно снизить массу механизмов и машин и получить значительный экономический эффект.

Термомеханическая обработка наибольшее влияние оказывает на пластические свойства стали, позволяет достигнуть у конструкционных и легированных сталей предела прочности, превышающего предел прочности стали после обычной термической обработки (закалки и низкого отпуска). При этом сохраняются высокие значения относительного удлинения и ударной вязкости. Эффект упрочнения при ТМО зависит от содержания в стали углерода. Наиболее высокие механические свойства получают у сталей с 0,5—0,6% С.

ТМО позволяет повысить механические свойства сталей не только со средним содержанием углерода, но и низкоуглеродистых и низколегированных сталей, несмотря на то, что процессы рекристаллизации здесь получают большее развитие и при охлаждении 100%-ной мартенситной структуры не получается. Например, у стали СтЗкп (температура деформирования 900°С, степень деформации 30%) повышение прочности по сравнению с обычным закаленным состоянием составляет 10—20% при одновременном возрастании пластичности и сопротивления распространению трещин.

Детали, подвергаемые термомеханической обработке, должны иметь окончательную форму и размеры, поскольку после упрочнения стали механическая обработка невозможна. Изделия, упрочненные термомеханической обработкой, можно эксплуатировать при температурах не выше 200—300°С, поскольку при более высокой температуре эффект упрочнения существенно снижается. При повышении температуры отпуска твердость снижается, а вязкость повышается.

Технологические процессы термомеханической обработки довольно широко применяют в машиностроении, например, при изготовлении штанг из стали 40 для нефтяных глубинных насосов, для упрочнения рессор, коренных шеек коленчатых валов из стали 60ХФА и др.

Надо иметь в виду, что при обработке деталей толщиной до 5—7 мм упрочнение при ТМО распространяется на весь объем детали, а в более массивных деталях упрочнение, как правило, происходит только в поверхностном слое.

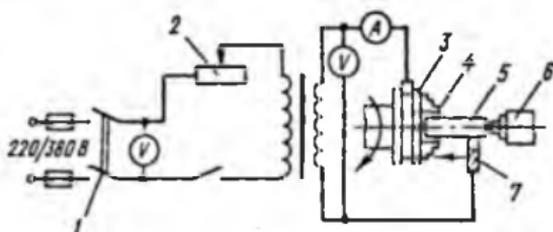


Рис. 16. Принципиальная схема электромеханической обработки:

- 1 — рубильник; 2 — реостат;
3 — вторичная обмотка трансформатора; 4 — патрон;
5 — деталь; 6 — задняя бабка; 7 — инструмент

Электромеханическое упрочнение стальных деталей. Электромеханический способ упрочнения (ЭМУ) основан на сочетании термического и силового воздействия на поверхностный слой обрабатываемой детали. Сущность этого способа заключается в том, что в процессе обработки детали в месте контакта инструмента с деталью проходит ток большой силы и низкого напряжения, вследствие чего выступающие гребешки поверхности подвергаются сильному нагреву и под давлением инструмента деформируются и сглаживаются, а поверхностный слой металла упрочняется.

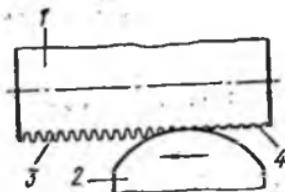
Принципиальная схема электромеханической обработки (ЭМО) на токарном станке показана на рис. 16. От сети напряжением 220—380 В ток проходит через понижающий трансформатор, а затем через место контакта детали с инструментом. Сила тока и вторичное напряжение регулируются в зависимости от величины контакта, исходной чистоты поверхности и требований к качеству поверхностного слоя.

Схема электромеханического сглаживания (ЭМС) приведена на рис. 17. Деталь 1 имеет вращательное движение, а инструмент 2 — поступательное. При этом грубая поверхность 3, полученная в результате обработки резцом, после прохода сглаживающего инструмента становится более точной (поверхность 4).

Сглаживающий инструмент представляет собой пружинную державку с механическим креплением пластины из твердого сплава. Давление сглаживания регулируется натягом поперечного суппорта с помощью специального индикаторного приспособления или индикатора, встроенного в инструмент.

Рис. 17. Схема электромеханического выглаживания:

1 — деталь; 2 — инструмент; 3 — профиль поверхности до выглаживания; 4 — профиль поверхности после выглаживания



Электромеханическое упрочнение стали связано в основном с резким повышением твердости и предела прочности и в меньшей мере оказывает влияние на другие характеристики материала. Процесс ЭМУ можно считать особым типом поверхностной термомеханической обработки металлов. В поверхностном слое в зависимости от температуры, скорости и степени деформации возникают структуры особого типа, соответствующие структурам ВТМО с фазовым превращением (светлый слой на микрошлифе), горячедеформированной с рекристаллизацией и без рекристаллизации и холодноедеформированной структуре.

При электромеханическом упрочнении поверхностный слой детали подвергается многократным термомеханическим воздействиям в зависимости от числа проведенных проходов. Электромеханическим сглаживанием достигается высокое качество поверхности ($Ra = 0,63 \div 0,20$ мкм).

В зависимости от назначения и типа обрабатываемых деталей для электромеханического упрочнения могут быть использованы токарные, фрезерные и другие металлообрабатывающие станки. Установка для электромеханического упрочнения деталей вращения состоит из понижающего трансформатора, токарного станка с электроконтактным устройством к патрону, а также из зажимаемой в суппорте станка пружинной державки с закрепленной в ней твердосплавной пластиной специальной формы.

При обработке очень крупных поверхностей и необходимости более глубокого упрочнения при силе тока 900—1200 А вместо пластины можно применять роликовый инструмент из твердого сплава.

Применение электромеханического сглаживания дает возможность заменить существующие операции чистовой обработки металлов и одновременно повысить эксплуатационные свойства поверхностного слоя. Твердость поверхности деталей из некоторых марок стали (ХВГ, У12 и др.) после ЭМУ повышается в 3—4 раза по сравнению с исходной структурой.

Повышение износостойкости поверхности стальных деталей с помощью ЭМУ объясняется возможностью получить закаленную структуру поверхностного слоя, что имеет особое значение для строительных и дорожных машин, где широко распространены абразивный износ, а упрочнение методом наклепа не дает заметного эффекта. Электромеханическое упрочнение металлов повышает не только износоустойчивость, но и усталостную прочность стальных деталей.

§ 4. НАПЛАВКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗНОСОСТОЙКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Большое число деталей строительных и дорожных машин в процессе эксплуатации изнашивается, т. е. постепенно разрушаются их рабочие поверхности в результате трения. Детали, вышедшие из строя в результате естественного или аварийного износа деталей, в большинстве случаев можно восстановить наплавкой или сваркой. Эти процессы занимают около 60% всей технологической трудоемкости при ремонте машин. У строительных и дорожных машин сваркой и наплавкой восстанавливают детали рабочих органов (ножи бульдозеров, зубья рыхлителей и ковшей, лопасти смесителей), детали гусеничного хода и цепных передач (звенья, колеса, ролики, оси, звездочки), детали стального и чугунного литья (рамы, станины, корпуса редукторов, блоки двигателей). Основными видами изнашивания являются: механическое, молекулярно-механическое (схватыванием) и коррозионно-механическое (окислением). Интенсивность изнашивания деталей определяется качеством металла, чистотой обработки поверхности, промежуточной средой и режимом работы. Для уменьшения изнашивания применяют различные способы наплавки.

Ручная дуговая наплавка осуществляется за счет энергии дугового разряда, который получают между неплавящимся (вольфрамовым, угольным) или плавящимся металлическим электродом и деталью. Для питания дуги применяют переменный или постоянный ток. Источниками переменного тока являются сварочные трансформаторы (например, СТН-500, СТАН-1, ТМ-30), постоянного тока — сварочные преобразователи (например, ПСО-500). Основными элементами режима являются величина и полярность сварочного тока, напряжение дуги, диаметр и марка применяемого электрода, скорость наплавки и положение шва в пространстве.

Наплавку тонкого слоя металла у высоколегированных сталей ведут на токе обратной полярности (деталь — катод) для исключения перегрева. Напряжение дуги при ручных процессах равно 18—30 В и зависит от длины дуги. Следует стремиться к работе на короткой дуге (2—3 мм). Ручная дуговая наплавка обеспечивает меньше деформации детали. Производительность составляет 0,8—1 кг наплавленного металла в час.

Автоматическая наплавка под слоем флюса заключается в горении электрической дуги под расплавленным флюсом, подаваемым непрерывно на поверхность ванны. Флюс предохраняет жидкий металл от окисления и разбрызгивания, способствует концентрации тепла дуги и, при небольших вылетах электрода, хорошему формированию шва. Плотность тока достигает 200 А/мм². После застывания флюс превращается в легко отделяемую шлаковую корку.

В ремонтном производстве применяют марганцовистые и высококремнистые флюсы. Для повышения износостойкости наплавленного металла осуществляют дополнительное легирование флюсов. Так, при добавках во флюс АН-348А графита (1—5%) и феррохрома (4—12%) удается достигнуть твердости слоя *HRC* 50—52. Скорости наплавки обычно составляют 10—40 м/ч, а производительность 4—9 кг/ч. При автоматической наплавке часто применяют порошковую проволоку, если требуется более качественное легирование. Ее изготавливают сворачиванием в трубку стальной ленты с одновременным заполнением порошковыми ферросплавами и другими компонентами.

Основным элементом автоматической наплавочной установки является сварочная головка. Автоматические сварочные головки обеспечивают либо регулирование электрических параметров, либо поддержание постоянной скорости подачи электродной проволоки. В первом случае схема включения электродвигателя привода механизма подачи проволоки связана с напряжением дуги. Увеличение длины дуги при сварке вызывает возрастание напряжения дуги и частоты вращения ротора двигателя. Электродная проволока подается быстрее и длина дуги восстанавливается. В аппарате АДС-100-2 применена переменная скорость подачи проволоки.

При постоянной скорости подачи проволоки используется принцип саморегулирования дуги, согласно которому изменение длины дуги приводит к обратному изменению скорости плавления электродной проволоки. Саморегулирование успешно применяют при высоких плотностях тока (выше 40 мА/мм²) и скоростях подачи 3 м/мин. Примером автоматов с постоянной скоростью подачи проволоки являются сварочные аппараты АБС, А-874С.

Наплавочные работы часто осуществляют в полуавтоматическом режиме, когда механизмируются только подача проволоки и флюса при ручном перемещении дуги (полуавтомат ПШ-5). Автоматическую наплавку плоских поверхностей для уменьшения коробления выполняют отдельными участками или валиками. Применяют увеличение (до 35 мм) вылета электродной проволоки и ток обратной полярности. Это позволяет концентрировать тепло на проволоке и избегать излишнего нагрева деталей.

Цилиндрические поверхности наплавляют по винтовой линии с перекрытием предыдущего витка. Смещение электрода относительно вершины витка (5—15 мм) в сторону, противоположную вращению детали, предохраняет ванну и флюс от стекания. Дальнейшее повышение производительности автоматической наплавки под флюсом достигается за счет многоэлектродной наплавки ленточным электродом.

Автоматическая вибродуговая наплавка осуществляется колеблющимся электродом. Колебания электрода относительно детали обычно составляют 1—3 мм, а частота — 50—110 колеба-

ний/с. Получают колебания от электромагнитного или механического вибраторов. Процесс ведется при постоянном токе обратной полярности и представляет собой чередование циклов разрыва цепи, холостого хода и короткого замыкания. Это позволяет добиться мелкокапельного переноса металла электрода на деталь, малого выгорания легирующих элементов и небольшой протяженности зоны термического влияния. Диапазон носимых толщин на круглых телах диаметром 15—80 мм равен 0,8—2,5 мм. Этому способствует применение охлаждающей жидкости.

Таблица 2

Режимы вибродуговой наплавки деталей из стали 45

Толщина наплавленного слоя, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Ток, А	Скорость наплавки, м/ч
0,3	1,6	120—150	132
1,1	2,0	150—210	60
2,5	2,5	150—210	18

Однако наплавленный металл содержит много пор, микротрещин и имеет невысокую усталостную прочность.

Для вибродуговой наплавки используют головки УАНЖ-6, КУМА-5М. Повышения прочности наплавленного металла достигают дополнительной термомеханической обработкой. Вибродуговую наплавку применяют для осей качения, валов передач (табл. 2).

ков рычагов и валов коробки

Механизированную наплавку в среде углекислого газа применяют при восстановлении деталей тонкого сечения, сложной конфигурации и на внутренних поверхностях, когда сварка под флюсом невозможна. Углекислый газ выполняет защитную роль, оттесняя от жидкой ванны азот и кислород воздуха. Для получения плотного шва в сварочную ванну вводят раскислители (кремний, марганец). По сравнению с ручной механизированная наплавка в углекислом газе имеет в 5—6 раз более высокую производительность (табл. 3). Процесс осуществляют на

Таблица 3

Ориентировочные режимы наплавки в среде углекислого газа

Толщина слоя, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч	Напряжение, В	Ток, А	Скорость наплавки, мм/об	Толщина слоя, мм
10	0,8	175	17—18	75	40—45	0,8
40	1,0	200—235	18—19	85—90	30—35	1,0

аппаратах А-547Р, А-929. Углекислый газ в зону дуги подают от баллонов через подогреватель и осушитель. Целесообразным является слой толщиной 0,8—1,5 мм. Для наплавки используют электродную проволоку Св-18ХГСА и др. При необходимости

повышения износостойкости слоя применяют порошковую проволоку с введением углерода, титана или фторосиликатов.

Вместо дорогостоящего газа иногда используют водяной пар. С ростом количества присутствующей влаги пористость наплавленных швов растет только до определенного предела, в дальнейшем она не только прекращается, но и уменьшается.

Плазменная наплавка. Плазма представляет собой поток сильно ионизированного высокотемпературного газа. Для возбуждения плазмы чаще всего используется электрическая дуга, однако возможно и действие поля токов высокой частоты. При восстановлении деталей плазму используют в качестве высокоинтенсивного источника тепла, расплавляющего на поверхностях деталей присадочные материалы в виде проволоки или порошков. Температура плазменного потока может достигать 15—20 тыс. °С. Плазму получают в горелках, обжимая дуговой разряд потоком плазмообразующего газа. Дугу возбуждают между неплавящимся катодом (вольфрам, цирконий) и охлажденным соплом либо самой деталью. В первом случае можно выделить независимую струю плазмы, удобную при напылении порошков. Второй случай эффективен при резке металлов и наплавке. Напряжение плазменной дуги по сравнению со свободно горящей дугой возрастает в несколько раз. Для плазменного нанесения порошков используют установки УПУ-2М, УМП-4-64. Выбор плазмообразующего газа диктуется эффективностью плазмообразования и защитными свойствами по отношению к катоду.

Наплавочными порошковыми материалами являются сплавы марок ХН80СР, ФБХ6-2 и др. Применяют следующий режим плазменной наплавки порошком при работе на азоте: сила тока 120—160А, рабочее напряжение — 50—60 В, расход газа 20—25 л/мин, охлаждающей воды 4 л/мин, порошка 6—8 кг/ч, наносимая толщина 0,3—3 мм.

Газопламенная и газопорошковая наплавка. Ацетилено- и пропано-кислородное пламя давно используют для сварки и наплавки. Наибольшая температура пламени соответственно 3100 и 2700° С. Газопламенные процессы просты, имеют низкую стоимость оборудования и большую мобильность, проявляющуюся в возможности гибкого регулирования температуры и защиты наплавочной ванны. Прутковой наплавкой наносят слои толщиной 0,5—5 мм, порошковой — 0,1—3 мм. Для прутковой наплавки применяют сварочные горелки ГС-3 «Звезда», работающие на ацетилене, и ГЗУ-2-62, ГЗВ-2-62, работающие на пропанбутане. Используют также газопорошковые горелки ГАЛ-2-68 и ГАЛ-6-73. Ацетилен в горелки подают от баллонов либо вырабатывают в генераторах из карбида кальция. Газопитание пропан-бутаном производится от баллонов, в которых он находится под давлением в жидком состоянии. Прутковыми твердыми сплавами являются: сормайт № 1 (на основе железа), стеллит ВЗК (на основе кобальта) и др. В качестве флюса используется

техническая бора. Газопорошковую наплавку осуществляют порошковыми сплавами типов СНГН, ХН80СР и др., имеющими свойство самофлюсования за счет присутствия бора и кремния. Важным требованием к порошкам в этом случае является однородность размеров (в пределах 200 мкм) и сферическая форма частиц. Получают порошки методами распыления жидких расплавов либо сфероидизацией. Прутковую наплавку применяют для восстановления режущих органов машин, газопорошковую — для плоских, фасонных и цилиндрических деталей в любом пространственном положении.

Электрошлаковую наплавку применяют для изготовления биметаллических деталей и нанесения износостойких слоев толщиной более 10 мм. Для плавления электродной проволоки используют тепло, которое выделяется при прохождении электрического тока через расплавленный шлак. Шлак размещают в зазоре, образуемом поверхностью детали и водоохлаждаемой формой. Величина зазора должна соответствовать требуемой толщине слоя наплавки. Весь слой наносится за один проход, электрошлаковая наплавка является наиболее производительной среди всех известных способов. Она практически исключает угар и разбрызгивание и обеспечивает высокое качество наплавленного металла на деталях плоской, цилиндрической и конической формы.

Расходы флюса при этом способе в 15—20 раз меньше, чем при наплавке под слоем флюса. Кроме специальной электродной проволоки можно применять ленты, пластины и стержни большого сечения. Для электрошлаковой наплавки применяют аппараты А-372, А-535 и др. Производительность процесса 12—30 кг/ч.

Наплавка токами высокой частоты. При наплавке ТВЧ (рис. 18) индуктор, питаемый током от высокочастотного генератора, располагают над наплавляемой поверхностью детали. Слой твердого сплава в виде порошка или пасты в смеси с флюсом предварительно наносят на изнашиваемые участки. Токи высокой частоты наводят в поверхностном слое детали вихревые токи, от которых нагревается деталь и плавится наплавочный сплав. Преимущества наплавки ТВЧ заключаются в малой глубине проплавления основного металла и высокой производительности. Ее успешно применяют при оснащении шарошек буровых долот зернистыми сплавами типа релит и рабочих кромок лемехов плугов. В последнем случае наплавка происходит одновре-

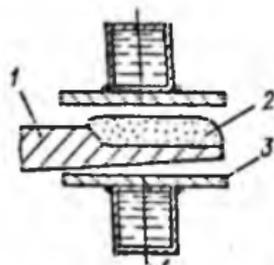


Рис. 18. Схема наплавки ТВЧ:
1 — наплавляемая деталь; 2 — слой твердого сплава;
3 — индуктор

менно по всей поверхности площадью около 200 см² при толщине слоя 1,5—2,5 мм и твердости HRC 64—60.

Металлизация деталей. При металлизации расплавленный материал распыляют струей инертного газа или воздуха на мелкие частицы (3—300 мкм) и со скоростью до 300 м/с наносят на специально подготовленную поверхность. Наносить можно поверхности деталей любой конфигурации. Достигаемая толщина слоя от 0,5 до 10 мм при высокой (до 6—8 кг/ч) производительности. Ударяясь о поверхность детали, частицы заполняют ее микро- и макронеровности и соединяются с деталью за счет механических и частично молекулярных связей. Покрытие обычно представляет собой пористый, хрупкий слой металла, который хорошо пропитывается смазкой и работает на износ при небольших удельных нагрузках. При больших нагрузках на сдвиг и сжатие (зубья шестерен, кулачки и др.) металлизационные покрытия из-за низкой прочности не применяют. В процессе нанесения деталь обычно не нагревается выше 200° С, однако усталостная прочность деталей, как правило, снижается. Металлизацию успешно применяют для заделки трещин на корпусных деталях, повышения жаростойкости, коррозионной стойкости и др. Расплавление наносимого материала осуществляют газовым пламенем (аппарат МГИ-1-57), электрической дугой (аппарат ЭМ-6, ЭМ-12), токами высокой частоты (аппарат МВ4-3).

§ 5. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ

Химико-термическая обработка в результате совместного действия температуры и активной внешней среды позволяет изменять химический состав поверхностных слоев металла для повышения служебных свойств деталей машин: твердости, износостойкости и устойчивости против коррозии.

Основными преимуществами химико-термической обработки как метода поверхностного упрочнения металла являются возможность более эффективного изменения свойств поверхностного слоя вследствие изменения его состава и создания более резкого перепада свойств от поверхности к сердцевине, а также получение упрочненных слоев весьма малой толщины. В качестве активных сред для химико-термической обработки применяют твердые, жидкие или газообразные вещества, богатые элементом, которым производится насыщение, и способные при высоких температурах диссоциировать с образованием диффундирующего элемента в атомарном состоянии.

Для упрочнения деталей машин наибольшее распространение получили следующие виды химико-термической обработки: цементация (насыщение стали углеродом), азотирование (насыщение стали азотом), нитроцементация или цианирование (совместное насыщение стали углеродом и азотом), диффузионная

металлизация (хромирование, алитирование, борирование, силицирование).

Цементация — наиболее распространенный в машиностроении способ химико-термической обработки стальных деталей — применяется для получения высокой поверхностной твердости, износостойкости и усталостной прочности деталей. Эти свойства достигаются обогащением поверхностного слоя детали углеродом до концентрации эвтектондной или заэвтектондной и последующей термической обработкой, сообщающей поверхностному слою структуру мартенсита с тем или иным количеством остаточного аустенита и карбидов.

Цементации обычно подвергают ответственные детали (шестерни, валы, оси, поршневые пальцы, болты, измерительный инструмент и др.) из низкоуглеродистых (содержащих 0,1—0,3% углерода) и низколегированных сталей. Обычно цементации подвергают детали из сталей 10, 15, 20, 25, 15Г, 20Г, 20Х, 25Н, 20ХГ, 18ХГМ, 15ХФ, 18ХГТ, 10ХМ, 12Х2Н4 и др. После цементации содержание углерода в поверхностном слое достигает 1,0—1,2%. Глубина цементованного слоя обычно находится в пределах 0,5—2,0 мм (иногда для мелких деталей в пределах 0,1—0,3 мм, а для крупных — более 2,0 мм).

Для поверхностного насыщения стальных деталей углеродом их нагревают в богатых углеродом средах, которые называют карбюризаторами. Применяют карбюризаторы трех видов: твердые, газовые и жидкие; существует и три вида цементации: твердая, газовая и жидкостная (последняя применяется редко).

Цементация в твердом карбюризаторе. В настоящее время цементация в твердом карбюризаторе вытесняется другими более прогрессивными технологическими процессами: газовой цементацией и нитроцементацией. Тем не менее цементация в твердом карбюризаторе имеет следующие особенности, которые не позволяют совершенно отказаться от этого процесса: универсальность и простота процесса и потребного оборудования; возможность цементации деталей весьма крупных размеров (в серийном и единичном производстве), когда устанавливать специальное оборудование для газовой цементации невыгодно. Цементация стальных деталей в твердом карбюризаторе, при всей простоте этого метода, — длительный и дорогой процесс, поэтому ее все чаще заменяют более прогрессивным способом — газовой цементацией.

Газовая цементация. При газовой цементации детали нагревают в печах, через которые с определенной скоростью проходит цементующий газ, содержащий углерод. Этот газ омывает деталь, а углерод поглощается ее поверхностью и постепенно проникает вглубь. Для газовой цементации применяют светильный, природный, коксовый, генераторный и другие газы, а также пары бензола, керосина, пиробензина и синтина, которые получают в результате разложения жидких карбюризаторов.

Преимущество газовой цементации состоит главным образом в том, что процесс протекает значительно скорее (примерно в 2 раза), чем при цементации в твердом карбюризаторе, а следовательно, продолжительность цементации сокращается. Условия при газовой цементации значительно гигиеничнее, чем при цементации в твердом карбюризаторе.

Наиболее экономичным является процесс газовой цементации в шахтных электрических печах (типа Ц), в которых цементирующий газ получается прямо в рабочем пространстве печи при испарении жидких углеводородов. Так, из капель керосина, подаваемого через капельницу в печь при высоких температурах, образуются газы — метан (CH_4), окись углерода (CO) и др. Из современных жидких карбюризаторов наилучшим является сиптин. Он выделяет наибольшее количество газов и наименьшее количество сажи, которая тормозит процесс цементации. Глубина цементованного слоя при газовой цементации зависит от температуры и времени выдержки. Обычно температура при газовой цементации равна $900\text{--}950^\circ\text{C}$.

Весьма прогрессивным является процесс газовой цементации в контролируемой атмосфере науглероживающего типа. Он обеспечивает высокое качество цементации, так как позволяет регулировать содержание углерода в поверхностном слое деталей. Например, для получения заданной концентрации углерода в цементованном слое (обычно $0,8\%$) используют эндотермическую контролируемую атмосферу (эндогаз). Эндотермическая атмосфера получается в результате частичного сжигания при температуре $1000\text{--}1200^\circ\text{C}$ природного или промышленного углеводородных газов в эндотермическом генераторе (т. е. имеющем внешний обогрев) в присутствии специального катализатора. Примерный состав эндотермической атмосферы в процентах; 20 CO , 40 H_2 и 40 N_2 .

Условия проведения газовой цементации (отсутствие укупок в ящиках) позволяют упростить термическую обработку цементованных деталей и проводить закалку после цементации непосредственно из газовой цементационной печи. В этом случае не нужно подвергать цементованные детали специальному нагреву под закалку. Непосредственная закалка после газовой цементации является наиболее простым и экономичным режимом термической обработки цементованных деталей, но ее применение связано с использованием наследственно мелкозернистой стали (например, стали марки 18ХГТ с зерном № 6—8).

Стационарные печи для газовой цементации (шахтные типа Ц, камерные и др.) применяют в условиях мелкосерийного производства, а при крупносерийном и массовом производствах — печи непрерывного действия (муфельные и безмуфельные), а также специальные агрегаты непрерывного действия.

На заводах отрасли применяют цементацию шестерен, осей пальцев и других деталей строительных и дорожных машин.

Азотирование. Азотированием называют процесс насыщения поверхности стальной детали азотом путем нагрева ее в аммиаке (NH_3) при температуре $500\text{--}700^\circ\text{C}$. Назначение азотирования — получить высокую твердость и износостойкость поверхности детали, повысить предел усталости или стойкость против коррозии (антикоррозийное азотирование). Твердость азотированного слоя сохраняется при нагреве до высоких температур ($600\text{--}650^\circ\text{C}$), тогда как твердость цементованного слоя, имеющего мартенситную структуру, сохраняется лишь до $200\text{--}225^\circ\text{C}$. Азотирование широко применяют для таких изделий, как шестерни, шейки валов, клапаны, гильзы цилиндров двигателей внутреннего сгорания, калибры, шаблоны, многие детали станков и др.

Повышение твердости и коррозионной стойкости детали при азотировании достигается благодаря образованию в ее поверхностном слое измельченных нитридов (химических соединений азота с металлами). Эти нитриды придают стали очень высокую твердость ($900\text{--}1100\text{ HV}$), поэтому после азотирования не требуется никакой дополнительной термической обработки.

Существенным преимуществом азотирования перед цементацией является то, что азотирование производится при сравнительно низкой температуре (обычно $500\text{--}550^\circ\text{C}$), т. е. намного ниже критических точек, и после азотирования детали не подвергаются никакой термической обработке, поэтому их форма и размеры изменяются очень мало.

На заводах отрасли применяют азотирование деталей гидромоторов и гидронасосов, входящих в гидросистемы экскаваторов, автокранов и других строительных и дорожных машин.

Цианирование. Цианированием называется такая химико-термическая обработка, при которой поверхность детали или инструмента одновременно насыщается углеродом и азотом. Цианирование так же, как и цементацию и азотирование применяют для придания деталям высокой поверхностной твердости и высокой износостойкости, а также красностойкости быстрорежущей стали. Цианированию подвергают многие детали, изготавливаемые из углеродистой и легированной стали, и режущий и измерительный инструмент из сталей различного химического состава. Продолжительность цианирования в несколько раз меньше продолжительности цементации. Цианирование можно проводить в жидких, газообразных и твердых средах.

В зависимости от температур, при которых протекает процесс, различают низкотемпературное цианирование, осуществляемое при $t=500\div 600^\circ\text{C}$, и высокотемпературное — при $t=800\div 900^\circ\text{C}$. Низкотемпературное цианирование служит для повышения стойкости инструмента из быстрорежущей стали. Оно является завершающей операцией и производится после термической обработки инструмента. Высокотемпературное

цианирование применяют для получения твердого, хорошо сопротивляющегося истиранию поверхностного слоя и вязкой сердцевины у деталей из конструкционной стали, содержащей 0,2—0,4% углерода. После высокотемпературного цианирования детали подвергают закалке и последующему низкому отпуску.

Нитроцементация (газовое цианирование). При газовом цианировании насыщение поверхности детали углеродом и азотом осуществляется в газовой среде, состоящей из науглероживающего газа (природного, пиролизного, генераторного) и аммиака. Таким образом, по существу газовое цианирование представляет собой два одновременно протекающих процесса: газовой цементации и азотирования. Именно поэтому газовое цианирование называют нитроцементацией. Нитроцементации подвергают детали сложной конфигурации из конструкционной углеродистой, низко- и среднелегированной сталей, а также инструмент из быстрорежущей стали.

Нитроцементацию в промышленности применяют сравнительно недавно, однако вследствие своих преимуществ она вытесняет не только жидкостное цианирование, но и газовую цементацию. Основными преимуществами нитроцементации перед газовой цементацией являются: более высокая износостойкость слоя вследствие наличия в нем азота; большая скорость процесса насыщения слоя (при одинаковой температуре) из-за активизирующего действия азота; меньшая деформация деталей при непосредственной закалке вследствие более низкой температуры процесса; меньшее сажеобразование; повышение под действием азота прокаливаемости цианированного слоя по сравнению с цементованным.

По сравнению с жидкостным цианированием нитроцементация имеет преимущества: устраняется необходимость применения ядовитых солей; процесс можно применять для более широкой номенклатуры деталей, в том числе средних и даже крупных размеров; насыщение слоя углеродом и азотом можно регулировать путем изменения скорости подачи карбюризатора и аммиака, легче осуществлять полную механизацию и автоматизацию процесса.

В промышленности применяют два вида нитроцементации: низкотемпературную (540—560°С) и высокотемпературную (800—960°С). Низкотемпературную нитроцементацию применяют для инструментов, изготавливаемых из быстрорежущих сталей, а высокотемпературную — для упрочнения широкой номенклатуры деталей из конструкционной углеродистой и легированной сталей. Иногда различают условно среднетемпературную нитроцементацию при температуре 800—850°С и высокотемпературную при температуре 930—960°С.

Нитроцементацию можно производить в тех же печах, которые применяют для газовой цементации или азотирования.

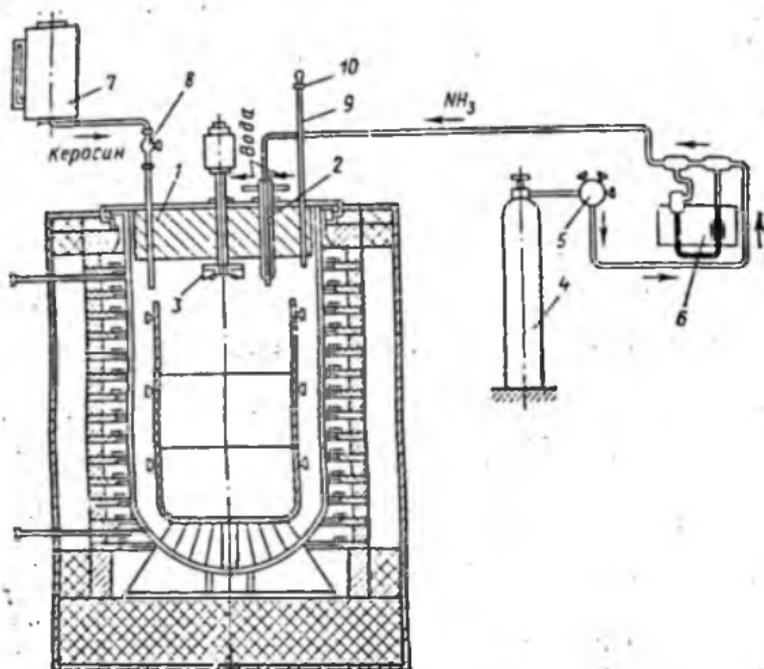


Рис. 19. Схема установки для нитроцементации:

1 — крышка печи; 2 — охлаждаемая водой трубка для ввода аммиака; 3 — вентильатор; 4 — баллон с аммиаком; 5 — редуктор; 6 — реометр; 7 — бачок; 8 — каплеуловитель; 9 — трубка; 10 — кран

Принципиальная схема установки для нитроцементации в шахтной печи показана на рис. 19. Подача аммиака регулируется редуктором 5 и отсчитывается по реометру 6. Из бачка 7 через каплеуловитель 8 подается керосин или другая углеводородная жидкость. Отходящие газы выходят через трубку 9, на которой имеется кран 10 для регулирования давления газа в печи. Охлаждение трубки для ввода аммиака необходимо для того, чтобы предотвратить преждевременное его разложение до попадания в печь.

Соотношение между процентным содержанием аммиака и углеродсодержащей газовой фазы при нитроцементации в практике машиностроительных заводов колеблется в широких пределах (от 2 до 30% NH_3 , остальное — науглероживающий газ) в зависимости от предъявляемых требований к нитроцементованному слою, материала деталей и условий проведения процесса. Однако накопленный опыт позволяет утверждать, что наилучшие результаты по скорости нитроцементации и качеству получаемого слоя могут быть достигнуты при использо-

вани газowego карбюратора, состоящего из смеси эндотермического (89—92%) и природного (6%) газов с добавкой 2—5% аммиака.

Продолжительность процесса при нитроцементации значительно больше, чем при жидкостном цианировании, и составляет при температуре процесса 840—860°С от 1 до 10 ч. При этом глубина нитроцементированного слоя колеблется от 0,2 до 1,0 мм. После нитроцементации так же, как и после цементации, производят закалку (как правило, непосредственно из цементационной печи) и низкий отпуск при $t=160\div 180^{\circ}\text{C}$. Для сложных деталей (например, зубчатых колес) наиболее совершенной является ступенчатая закалка в горячем масле ($t=170\div 190^{\circ}\text{C}$). Это позволяет снизить деформацию при термической обработке до минимума и получить детали со светлой поверхностью. Твердость нитроцементированного слоя после термической обработки $HRC\ 58\text{—}62$.

В номенклатуру деталей, подвергаемых нитроцементации, входят валы (в том числе коленчатые), шестерни, цилиндры, поршни, пальцы, валики, червяки, детали топливной и гидроаппаратуры, инструмент (в том числе быстрорежущий) и др. В отрасли строительного и дорожного машиностроения нитроцементацию применяют на многих заводах, например: Таллинском экскаваторном им. 50-летия СССР, одесском «Стройгидравлика», московском «Пневмостроймашина» и др. Нитроцементация — высокопроизводительный процесс, более дешевый и менее вредный, чем жидкостное цианирование.

В последнее время для нитроцементации используют жидкие цианизаторы, которые содержат наряду с углеродом и азот. Из таких цианизаторов наиболее известен и проверен в производстве триэтаноламин ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)₃N. При введении его в рабочее пространство нагретой печи получают одновременно активные атомы углерода и азота, диффундирующие в поверхность обрабатываемых деталей.

Триэтаноламин, представляющий собой вязкую прозрачную жидкость желто-коричневого цвета, обладает важными преимуществами в условиях термического цеха — он взрывобезопасен и безвреден. При температуре 200—300°С триэтаноламин не испаряется, но, разлагаясь, дает смолообразные отложения, поэтому при подаче его в печь через обычную капельницу патрубков ввода закоксовывается, нарушая нормальный ход процесса. Во избежание этого триэтаноламин подается под давлением в печь для нитроцементации через капельницу или насос со специальной конструкцией ввода.

Триэтаноламин является бессажистым цианизатором. Избыточная часть углерода, возникающая при его разложении, связывается кислородом в окись углерода. При использовании триэтанолamina отпадает необходимость в подаче аммиака, что упрощает технологический процесс нитроцементации и приме-

няемое оборудование. Триэтаноламин обладает высокой цианрующей активностью. Скорость нитроцементации триэтаноламином при температуре процесса 930°C в 1,5—2,5 раза больше, чем скорость газовой цементации керосином при той же температуре. Применение триэтанолamina дает более высокое насыщение слоя азотом, чем при использовании карбюратора и аммиака.

Нитроцементация с использованием триэтанолamina создает большие возможности для повышения температуры процесса при обработке деталей из низколегированных и углеродистых сталей. Рекомендуется для сокращения продолжительности процесса нитроцементацию триэтаноламином вести при температуре 930°C , что уменьшает необходимое время в среднем на 30—50% по сравнению с нитроцементацией при $t=840\div 860^{\circ}\text{C}$.

После того, как промышленные испытания триэтанолamina в качестве активной среды для нитроцементации стальных деталей подтвердили его несомненные преимущества, его применяют на многих машиностроительных заводах. В частности, нитроцементация с помощью триэтанолamina применяется на автомобильном заводе им. Ленинского комсомола (АЗЛК).

В отрасли строительного и дорожного машиностроения нитроцементация в продуктах пиролиза триэтанолamina внедрена на Калининском экскаваторном заводе (шестерни главного редуктора и коробки перемены передач гидравлического экскаватора) и на свердловском ордена Трудового Красного знамени заводе «Пневмостроймашина» имени Орджоникидзе (детали пневмоинструмента).

§ 6. УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПУТЕМ ВЫБОРА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В гл. 2 в § 2 были приведены формулы для расчета режимов резания при механической обработке. Применение этих формул обеспечивает рациональное использование режущих свойств инструмента и мощности оборудования. Установлена зависимость между обрабатываемым материалом, режимами резания, геометрией режущего инструмента и качеством поверхности. Эта зависимость сводится к следующему. Более вязкие металлы после механической обработки дают более шероховатую поверхность, чем хрупкие. Термическая обработка стали, произведенная перед механической обработкой, позволяет получить поверхность с меньшими параметрами шероховатости. Например, нормализация стали 45 позволяет уменьшить шероховатость поверхности после обработки в 2 раза. Наклеп на поверхности, полученный различными способами (прокаткой, штамповкой, волочением и т. п.), дает возможность получения менее шероховатой поверхности после механической обработки.

Величина подачи оказывает существенное влияние на качество поверхности. С увеличением подачи растет величина наклепа на поверхности, но при больших подачах повышается шероховатость обрабатываемой поверхности. Однако при наличии у резца широкого лезвия, перекрывающего величину подачи, возможно получить менее шероховатую поверхность. Таким образом, величина выбранной подачи может определять качество поверхности с точки зрения наличия наклепа необходимой толщины, а также обеспечивать получение требуемой шероховатости. Одновременно следует учитывать, что практического влияния на шероховатость поверхности уменьшение величины подачи до $0,05-0,15$ мм/об не оказывает.

Глубина резания не оказывает заметного влияния на качество поверхности, однако при $t=0,02-0,40$ мм режущий инструмент подвергается вибрациям, вызывающим повышение шероховатости этой поверхности. Установлено, что скорость резания оказывает влияние на шероховатость поверхности. Например, обработка точением со скоростью резания $v=20-30$ м/мин нежелательна, так как в указанном диапазоне на резце образуется максимальный нарост, при котором возникает наиболее высокая шероховатость.

Увеличение скорости резания по сравнению с указанной способствует уменьшению шероховатости поверхности, а при $v=100-150$ м/мин и более ее величина стабилизируется. С точки зрения упрочнения поверхности, оптимальной будет скорость резания, равная $150-200$ м/мин.

Приведенные данные, в основном, относятся к обработке методом точения. Что касается других видов механической обработки, то можно привести следующие данные: при сверлении со скоростью резания $15-24$ м/мин и зенкерования со скоростью $20-30$ м/мин шероховатость обрабатываемой поверхности увеличивается. При разворачивании минимальная шероховатость поверхности достигается при скорости резания $4-8$ м/мин.

Геометрические параметры резца также оказывают существенное влияние на качество поверхности. Так, с увеличением радиуса при вершине резца шероховатость поверхности уменьшается. Приближение радиуса при вершине резца к величине $50-60$ мм дает возможность существенно повысить качество обрабатываемой поверхности. Углы резца также влияют на шероховатость поверхности: с уменьшением главного и вспомогательного углов в плане шероховатость уменьшается. Большое влияние на чистоту обработки оказывает ширина режущей кромки резца. Особенно велико это влияние при больших подачах. Так, при подаче 6 мм/об при наличии лезвия шириной 7 мм можно получить шероховатость с $Ra=1,25-0,63$ мкм.

При увеличении переднего угла резца шероховатость поверхности несколько уменьшается. Задний угол резца оказы-

вает существенное влияние на качество поверхности. При значении заднего угла $3-4^\circ$ имеет место не только получение поверхности малой шероховатости, но и появляется наклеп.

Важное значение для обеспечения качества поверхности имеет правильная заточка и доводка режущего инструмента. При заточке нельзя допускать прижогов, которые являются причиной возникновения микротрещин. Для борьбы с этим явлением все заточные станки и устройства оснащают специальными держателями затачиваемого инструмента с регулируемым пружинными механизмами, определяющими требуемую степень прижатия инструмента к абразивному кругу. Доводка особенно необходима инструментам для чистовых операций, таких, как развертывание, протягивание; чистовое точение и т. п.

Глава 5

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ И МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

§ 1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ, ПЕРЕХОДОВ И НАЗНАЧЕНИЕ ПРИПУСКОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ

При выборе оптимального технологического процесса механической обработки резанием деталей необходимо учитывать производственную программу выпуска этих деталей, характеристику заготовки и ее припуски на обработку, данные об оборудовании, оснастке и технико-экономические показатели.

Производственная программа является одним из решающих показателей, определяющих будущий тип производства (массовый, серийный, единичный), а это, в свою очередь, является основой при выборе технологического оборудования и оснастки. Например, в массовом производстве необходимо предусматривать обработку на автоматах и полуавтоматах; в серийном производстве — на полуавтоматах, агрегатном и переналаживаемом оборудовании; в единичном — на универсальном. Станки с числовым программным управлением целесообразно применять как в массовом, так и в серийном производстве, с учетом сложности конфигурации детали.

Способ получения заготовки также существенно влияет на выбор метода механической обработки. Отливки, поковки, заготовки из проката имеют специфику и по физико-механическим свойствам материала, и по величине припусков, чем и определяется выбор операций механической обработки. Совершенно очевидно влияние типажа имеющегося технологического оборуду-

дования и оснастки на проектируемый процесс механической обработки резанием и сборки деталей и сборочных единиц машин. Учет технико-экономических показателей, рассчитанных по вариантам технологических процессов, в конечном счете и определяет выбор оптимального технологического процесса.

Следующим этапом проектирования технологического процесса является выбор последовательности обработки. При этом необходимо прежде всего решить вопрос о концентрации или дифференциации операций. Концентрация операций — это совмещение операций в одну методом многоинструментальной обработки, что возможно путем агрегатирования оборудования и оснащения универсальных станков специальной многоинструментальной оснасткой.

Дифференциация операций предусматривает разделение операций на отдельные переходы, выполняемые на разных станках. Это выполнимо при переводе обработки на автоматы, полуавтоматы и специальные станки. Очевидно, что концентрация оправдана в серийном, а дифференциация — в массовом производстве. Это разделение носит условный характер, так как при решении вопросов следует учитывать такие моменты, как форма и материал детали, номенклатура имеющегося оборудования, необходимые сроки поставки машин и т. п.

После определения необходимости концентрации или дифференциации разрабатывают порядок последовательности операций и переходов обработки деталей. Первой должна быть выбрана операция по созданию базовой поверхности. Эта поверхность обеспечивает получение требуемой точности всех других поверхностей детали. Дальнейшую последовательность операций и переходов устанавливают, исходя из принципа — вначале производят черновые работы, а затем — чистовые и отделочные. Существенное влияние на весь процесс механической обработки резанием оказывают материал заготовки и величины припусков на обработку.

Последовательная или параллельная работа инструментов при обработке поверхностей заготовки, а также последовательное или параллельное расположение нескольких заготовок относительно режущих инструментов обуславливают схемы операций, различные по условиям совмещения переходов во времени. В зависимости от этого операции могут быть последовательного, параллельного и параллельно-последовательного выполнения.

Следующим этапом проектирования является назначение припусков. Под припуском понимают величину слоя металла, подлежащую удалению с заготовки в результате механической обработки резанием. Вся величина этого слоя носит название общего припуска, а часть его, удаляемая последовательно, является промежуточным припуском. Таким образом, сумма промежуточных припусков является общим припуском.

В машиностроении широко применяют два метода установления припусков: опытно-статистический и расчетно-аналитический. По опытно-статистическому методу общие и промежуточные припуски берут из таблиц, которые составляют на основе обобщения и систематизации производственных данных передовых заводов. По расчетно-аналитическому методу припуски определяют по соответствующим формулам. Величины припусков во многом определяют совершенство технологических процессов. Завышенные припуски обуславливают большие затраты материалов и средств на обработку деталей и приводят к снятию упроченных поверхностных слоев металла. Заниженные припуски не обеспечивают получения требуемой шероховатости поверхности, а также не допускают удаления верхних дефектных слоев материала. Минимальный промежуточный припуск на диаметр при обработке наружных или внутренних поверхностей вращения

$$2z_{i \min} = 2[(Rz_{i-1} + T_{i-1}) + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + e_i^2}];$$

минимальный припуск на сторону при последовательной обработке противоположных или отдельно расположенных плоскостей

$$z_{i \min} = (Rz_{i-1} + T_{i-1}) + (\rho_{i-1} + e_i),$$

где Rz_{i-1} — высота неровностей, полученная на смежном предшествующем $(i-1)$ -м переходе обработки данной поверхности; T_{i-1} — глубина поверхностного слоя, полученная на смежном $(i-1)$ -м технологическом переходе и подлежащая полному или частичному удалению; обычно принимают для заготовок из проката $Rz_{i-1} + T_{i-1} = 0,3$ мм; для поковок — $Rz_{i-1} + T_{i-1} = 2,0 \div 5,0$ мм (при свободной ковке); для отливок 9-го качества точности $Rz_{i-1} + T_{i-1} = 0,8 \div 2,0$ мм; ρ_{i-1} — пространственные отклонения в расположении обрабатываемой поверхности относительно базовых поверхностей заготовки: кривизна, непараллельность осей или поверхностей, несоосность ступеней валов и отверстий, эксцентricность поверхностей, полученных на смежном предшествующем $(i-1)$ -м переходе; e_i — погрешность установки на станке, возникающая на выполняемом $(i-1)$ -м переходе и составляющая обычно на токарных станках $0,1-0,25$ мм в зависимости от диаметра деталей.

Максимальный промежуточный припуск для поверхностей вращения

$$2z_{i \max} = 2z_{i \max} + \delta_{i-1} - \delta_i,$$

где δ_{i-1} — допуск на размер, полученный на предшествующем смежном $(i-1)$ -м переходе; δ_i — допуск на размер, полученный на выполняемом i -м переходе.

После суммирования промежуточных припусков, рассчитанных по приведенным формулам, определяют величины общих припусков:

$$\text{максимального } 2z_{0 \max} = \sum_{i=1}^{i=p} 2z_{i \max}$$

$$\text{и минимального } 2z_{0 \min} = \sum_{i=1}^{i=p} 2z_{i \min},$$

где p — число технологических переходов обработки данной поверхности.

Припуски $2z_{0 \max}$ и $2z_{0 \min}$ являются припусками на размер поверхности вращения заготовки. Аналогично рассчитывают припуски и на плоские поверхности, используя соответствующие формулы.

РАЗДЕЛ II

ПРОГРЕССИВНЫЕ СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК

Глава I

ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК ЛИТЬЕМ

§ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК

Основной тенденцией развития способов производства заготовок является приближение формы и размеров заготовок к размерам и форме готовых изделий, повышение прочностных характеристик, качества деталей и производительности процессов. Осуществление этих мероприятий позволяет во многих случаях экономить металл и существенно снижать, а иногда и совсем устранять механическую обработку резанием.

Для получения заготовок применяют различные способы литья, обработки давлением, порошковой металлургии, смешанные способы, включающие получение штампо-сварных заготовок, штамповку литых заготовок, штамповку заготовок из жидкого металла в стадии кристаллизации, штамповку порошковых заготовок и т. п. Почти весь выплаваемый в стране металл обрабатывают этими способами. Достаточно сказать, что около 90% всей выплаваемой стали обрабатывают давлением с применением прокатки, штамповки, прессования, волочения и других операций. От 15 до 20% полуфабрикатов подвергают двух-, трехкратной обработке давлением.

Литье представляет собой процесс заполнения расплавленным металлом полый формы одноразового или многократного применения. Жидкий металл заполняет форму под действием силы тяжести или центробежной силы. Широкое распространение получили способы заливки металла под давлением, причем эти способы применяют для изготовления сложных деталей из цветных и черных металлов.

Литье как метод получения заготовок имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами формообразования металла. Литьем в принципе можно получать заготовки любой сложности из многих металлов и сплавов с необходимой точностью и шероховатостью поверхности. Однако литье имеет недостатки, ограничивающие область его применения. Литые изделия имеют крупнокристаллическое строение, недостаточную плотность и неоднородный состав. Эти недостатки литой

структуры только частично могут быть устранены термической обработкой. Большие трудности возникают при литье деталей большой длины с малыми сечениями.

Широкое распространение получили способы непрерывной разливки металла для получения сплошных и полых профилей. При этом получают полуфабрикат квадратного, прямоугольного и круглого сечений неограниченной длины.

Обработка металлов давлением основана на использовании пластичности металлов, под которой понимают способность металлов изменять свою форму без разрушения под влиянием внешних сил. Обработкой давлением можно получать самые разнообразные заготовки с высокими прочностными характеристиками при сравнительно большом коэффициенте использования металла. Процессы обработки давлением отличаются большим разнообразием. В строительном и дорожном машиностроении применяют в основном процессы свободнойковки, горячий и листовой штамповки.

Свободнуюковку применяют для получения сравнительно крупных поковок из прокатного металла для изготовления небольших партий. При изготовлении больших партий применяют объемную штамповку на прессах и молотах. В этом случае катаную заготовку помещают в полость штампа и деформируют. Металл заготовки под давлением заполняет полость штампа. Сложные поковки получают последовательной деформацией в нескольких штампах, форма полости которых постепенно приближается к форме готовой поковки. Листовую штамповку применяют для изготовления деталей с тонкими поперечными сечениями. В качестве исходного материала применяют листовую сталь.

В последнее время быстрыми темпами развивается порошковая металлургия. Трудно назвать область современной промышленности, где бы не применяли те или иные изделия из порошковых металлов. В обрабатываемой промышленности порошки используют для изготовления твердосплавного инструмента, в строительном и дорожном машиностроении — для наплавки и армирования быстроизнашивающихся деталей, изготовления различных износостойких деталей машин и механизмов с высокими антифрикционными и фрикционными свойствами и т. д. Значение порошковой металлургии определяется ее возможностью создавать принципиально новые материалы с заранее заданными свойствами. Методами порошковой металлургии все чаще получают спеченные материалы, заменяющие обычные углеродистые стали, чугуны и цветные металлы.

Существенным недостатком получения деталей конструкционного назначения методами порошковой металлургии являются неодинаковая плотность материала по сечениям детали, низкая пластичность и твердость. Эти недостатки присущи и

развивающемуся в настоящее время процессу производства заготовок путем штамповки поковок из спеченных брикетов. В то же время поковки, отштампованные из порошковых брикетов, имеют хорошую чистоту и упрочненную структуру поверхностного слоя. Для их производства требуется меньшее число штамповых ручьев, чем при штамповке из проката.

§ 2. СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК

Фасонные заготовки деталей строительных и дорожных машин изготовляют отливкой из чугуна, стали и цветных металлов. В некоторых строительных и дорожных машинах масса литых деталей составляет 40—60% от общей массы машин. Для получения этих деталей литьем используют различные виды технологических процессов, отличающихся способом изготовления форм, условиями заливки, характером материалов, из которых изготавливают литейные формы.

Литейные формы изготавливают из различных материалов. Наибольшее применение находят литейные формы, изготовленные из формовочных и стержневых смесей, основу которых составляет кварцевый песок, глина и другие связующие материалы. Способ литья в песчаные формы является наиболее универсальным и его применяют для получения отливок из всех литейных сплавов различной массы, размеров и формы. Однако этот способ в настоящее время не в полной мере отвечает требованиям, предъявленным к качеству заготовок и производительности труда.

В производстве строительных и дорожных машин применяют литье в песчаные формы, в оболочковые формы, в кокиль, центробежное литье, литье под давлением, по выплавляемым моделям. Одним из основных требований к процессам отливки заготовок является получение качественных заготовок с максимальным приближением по форме и размерам к конфигурации готового изделия. Это позволяет значительно сократить механическую обработку или вообще исключить ее. Ниже рассмотрены наиболее прогрессивные литейные процессы. К ним относятся литье под давлением, по выплавляемым моделям, в оболочковые формы, центробежное литье.

§ 3. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОТЛИВОК ИЗ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Для производства заготовок литьем применяют сплавы из черных и цветных металлов. В зависимости от условий работы литых деталей используют серый чугун, высокопрочный, ков-

кий и специальный чугуны, углеродистые и легированные стали, бронзы, латуни, алюминиевые, магниевые, цинковые и другие сплавы, отличающиеся друг от друга механическими, физическими, электрическими, технологическими и другими свойствами. Эффективность выбранного способа отливки во многом зависит от литейных свойств сплава — жидкотекучести, усадки, склонности к ликвации.

Жидкотекучестью металла называют его способность заполнять литейную форму и давать четкие отпечатки поверхности. Жидкотекучесть серого чугуна значительно выше, чем у стали и ковкого чугуна. В значительной степени жидкотекучесть зависит от теплоемкости и теплопроводности материала литейной формы. При литье в металлические формы жидкотекучесть низка и тонкие элементы заготовки получать затруднительно. Жидкотекучесть при литье в песчаные формы выше на 20—35%.

Усадкой называют свойства металла уменьшать свой объем при переходе из жидкого состояния в твердое. Явление усадки приводит к образованию усадочных раковин и усадочной пористости, к возникновению внутренних напряжений.

Ликвацией называется процесс появления химической неоднородности в сплавах при их кристаллизации. Чем выше скорость охлаждения сплава, тем меньше развивается ликвация.

§ 4. ПРОГРЕССИВНЫЕ СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

Производство заготовок литьем под давлением. Процессам получения заготовок обработкой давлением свойственны высокие деформирующие силы, а обычным литьем в песчаные формы не удается получить заготовки с высокими механическими характеристиками. Процесс литья под давлением позволяет устранить эти недостатки процессов производства заготовок. Сущность метода литья под давлением заключается в том, что металл заполняет стальные формы под давлением поршня или сжатого воздуха.

Для литья под давлением в настоящее время применяют два вида машин, различаемых по способу передачи давления на расплавленный металл: компрессорные, в которых жидкий металл заполняет форму под действием сжатого воздуха, и поршневые, в которых металл заполняет форму с помощью поршня.

На рис. 20 показана схема изготовления заготовки на поршневой машине. В камеру сжатия 1 заливается жидкий металл. Под действием поршня 2 металл подается через литниковую систему 3 в литейную форму, состоящую из подвижной 4 и неподвижной 5 частей. После затвердевания металла форма

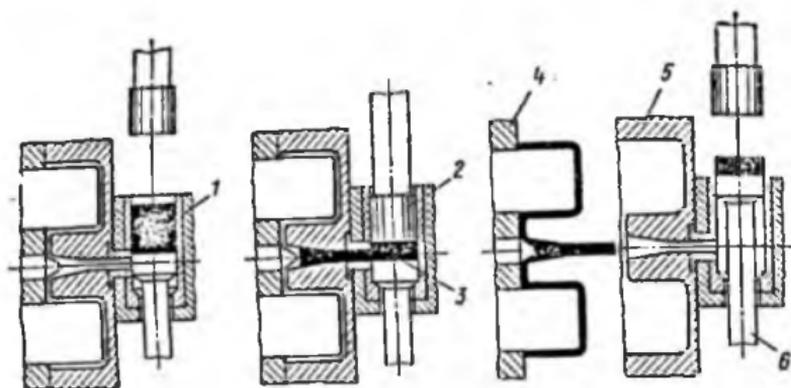


Рис. 20. Схема устройства машины для литья под давлением

открывается, верхний поршень уходит вверх, а нижний поршень *б* при подъеме вверх обрезает остаток литья и удаляет его из камеры сжатия.

Машины поршневого типа применяют для отливки деталей из медных и алюминиевых сплавов, сплавов на основе цинка, магния. Модернизированные машины применяют для изготовления отливок из стали. Величина требуемого давления зависит от свойств материала заготовки, толщины стенок и сложности конфигурации. Наибольшее давление требуется для получения тонкостенных отливок сложной конфигурации с глубокими полостями. Поршневые машины отличаются высокой производительностью (200—400, а в отдельных случаях до 1000 шт./ч). Наибольшее усилие прессования доходит до (200 МН/м²) (2000 кгс/см²). Точность небольших отливок может достигать 11—10-го качества. Шероховатость поверхности может достигать 2,5—0,63 мкм. Литье под давлением очень эффективно при получении мелких заготовок, которые на большинстве заводов строительного и дорожного машиностроения изготавливают на револьверных или автоматических станках из пруткового материала с отходом в стружку до 75% металла. В некоторых случаях оказывается целесообразным перевести на литье под давлением не только детали, обрабатываемые на станках, но и детали, получаемые многооперационной холодной штамповкой.

Материалом металлических форм для литья под давлением служит серый чугун, реже — сталь. Для увеличения стойкости поверхность форм покрывают специальными огнеупорными облицовками.

Получение заготовок центробежным литьем. При центробежном литье жидкий металл заливают в быстро вращающуюся форму. Под действием центробежных сил жидкий металл разгоняется по поверхности формы и, кристаллизуясь, образует фасонную заготовку. Затвердевание металла при одновремен-

ном воздействии центробежных сил способствует значительному уплотнению и повышению прочностных свойств изделий. Под действием центробежных сил все газы, примеси и неметаллические включения отбрасываются к внутренней поверхности отливки, как более легкие составляющие по сравнению с металлом.

Для изготовления заготовок центробежным литьем используют машины с горизонтальной (рис. 21, а) и с вертикальной (рис. 21, б) осью вращения. На первой машине получают заго-

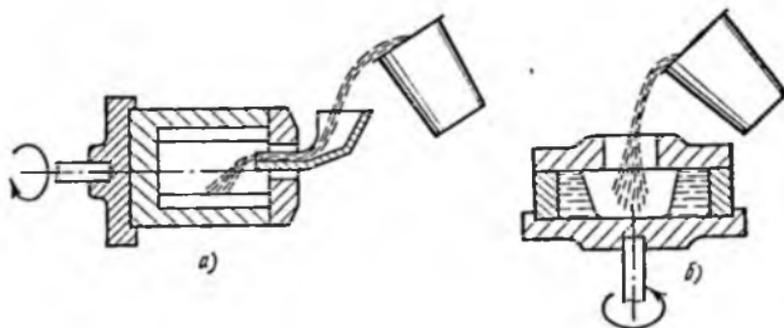


Рис. 21. Способы получения заготовок центробежным литьем

товки, имеющие форму тел вращения с широким интервалом отношения длины к диаметру $H/D=0,07\div 12$ и более. Таким образом получают отливки труб длиной до 6 м и наружным диаметром 150 мм. На машинах с вертикальной осью вращения получают отливки с небольшим отношением высоты к диаметру ($H/D<0,3\div 0,4$).

Центробежным литьем получают заготовки из чугуна, стали и цветных металлов. Масса отливок колеблется от нескольких грамм до нескольких тонн. Точность литья соответствует 7-му качеству точности. Специфика кристаллизации при центробежном литье позволяет получать отливки без некоторых дефектов, свойственных литью в песчаные формы.

При центробежном литье сокращается расход формовочных и стержневых смесей, достигается экономия металла за счет отсутствия прибылей и литниковой системы. Центробежное литье применяют для отливки биметаллических втулок и вкладышей, при этом достигается экономия цветных металлов до 40% и более. Формы для центробежного литья изготавливают из чугуна или стали. Стойкость их составляет при отливке чугунных деталей 200—400 заливок, при отливке из сплавов на основе меди — от 500 до 1000 заливок, при отливке из сплавов на основе алюминия — до 10 000 заливок. Для мелкосерийного

производства центробежное литье может быть более рентабельным, чем литье в песчаные формы.

Литье в металлические формы (кокили). Получение заготовок литьем в металлические формы имеет некоторые преимущества перед литьем в песчаные формы. Такие заготовки отличаются высокими механическими свойствами и равномерным мелкозернистым строением, высокой точностью размеров и качеством поверхности, часто не требующей очистки и дополнительной обработки.

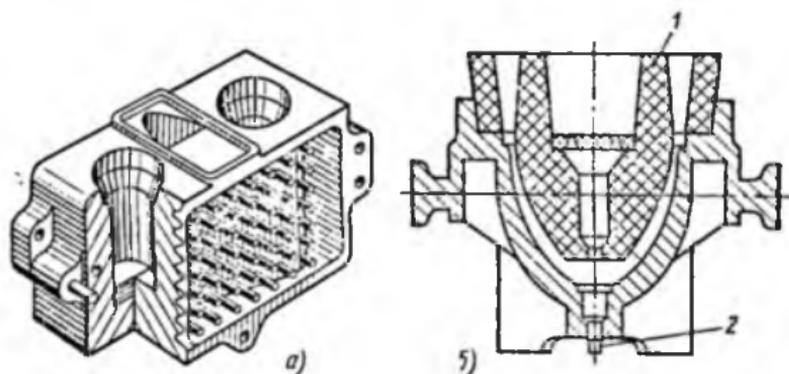


Рис. 22. Металлические формы

Благоприятная структура металла заготовки появляется вследствие большой скорости охлаждения и кристаллизации сплавов, залитых в металлические формы. Исключением является серый чугун. Большая скорость охлаждения чугуна в металлической форме может привести к отбеливанию, т. е. получению структуры белого чугуна, характеризующегося высокой твердостью и хрупкостью, недопустимыми для большинства машиностроительных деталей.

Для получения в отливках внутренних полостей и устранения торможения усадки при застывании металла применяют песчаные стержни. Такие формы называют полуметаллическими. Металлическая форма (рис. 22, а) — разъемная, предназначена для одновременной заливки двух деталей поршня двигателя. С внешней стороны она снабжена штырями для ускорения охлаждения отливки. Заливка полуметаллической (рис. 22, б) формы осуществляется через отверстие в стержне 1, а отливку после затвердевания удаляют, переворачивая форму на цапфах и ударяя по выталкивателю 2.

Литьем в металлические формы можно получать заготовки из большинства литейных марок цветных сплавов, стали и чугуна массой от нескольких граммов до нескольких тонн с высокой точностью и качеством поверхности. В литых формах, применяемых для отливки стальных и чугунных заготовок и

механически необработанных, можно получить 15—17-й качество точности и шероховатость $Rz=80\div 20$ мкм. В формах, полученных с применением механической обработки, можно получить точность, соответствующую 12—13-му качеству, и шероховатость поверхности $Rz=40\div 6,3$ мкм (для отливок из цветных сплавов). Для изготовления металлических литейных форм применяют чугуны (стойкость при отливке стальных заготовок составляет около 400 заливок), сталь (стойкость при заливке серого чугуна около 1000 заливок), алюминиевый сплав АЛ8 (стойкость при заливке серого чугуна составляет около 2000 заливок). Основными причинами, ограничивающими распространение способа литья в металлические формы, являются высокая стоимость и отсутствие податливости стенок форм, невозможность получения тонкостенных отливок вследствие падения жидкотекучести сплава при соприкосновении его с теплопроводными стенками.

В массовом и серийном производстве изготовление отливок в металлических формах осуществляется в кокильных литейных машинах, работа которых механизирована или автоматизирована.

Литье по выплавляемым моделям. Этот способ литья является наиболее универсальным с точки зрения величины партии заготовок и сложности формы детали. Литье по выплавляемым моделям рентабельно не только для крупносерийного и мелкосерийного производства, но и для изготовления опытных образцов.

Технологический процесс изготовления заготовок этим способом заключается в следующем. По чертежу заготовки изготовляют пресс-форму для получения моделей из легкоплавких материалов (парафина, канифоли, стеарина, церезина и др.). Материалом для пресс-форм служат стали, алюминиевые сплавы, легкоплавкие металлы, гипс, цемент, эпоксидные смолы и др. Пресс-формы могут быть одно- и многогнездными. После очистки, смазки и сборки пресс-формы заполняют путем заливки и запрессовки легкоплавким модельным составом при температуре около 70—90° С. После остывания и затвердевания модель извлекают из пресс-формы. Полученные модели собирают в блоки с единой литниковой системой. Модель литниковой системы изготавливают в отдельной пресс-форме. Блок может состоять из нескольких единиц или нескольких десятков моделей (рис. 23, а).

Форма образуется посредством нанесения нескольких слоев покрытия или погружением блока моделей в огнеупорную краску. Огнеупорная краска состоит из 60% тонкозернистого пылевидного кварца и связующего раствора жидкого стекла или гидролизованного этилсиликата. Каждый слой краски посыпают кварцевым песком, а затем просушивают в течение 2—4 ч. После затвердевания формы из нее удаляют восковую модель,

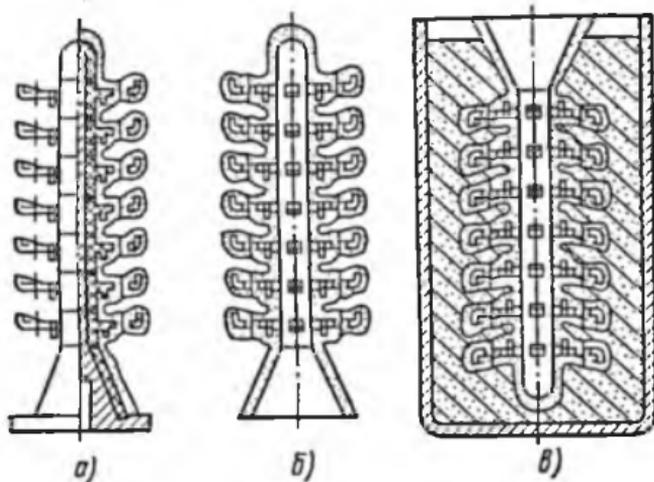


Рис. 23. Литье по выплавляемым моделям

расплавля горячей водой. Модельный состав вытекает через литниковую систему и его собирают для повторного использования.

Полученную форму (рис. 23, б) прокаливают, помещают в опоку и засыпают наполнителем (песком, чугунной дробью и др.). Собранную опоку (рис. 23, в) заливают жидким литейным сплавом. После заливки металла формы охлаждаются и разрушаются, а отливки очищают, зачищают остатки литниковой системы, подвергают термической обработке и контролируют.

Литьем по выплавляемым моделям можно получать заготовки сложной формы массой от 1 г до 100 кг и толщиной стенок до 0,3 мм. При этом обеспечивается 9—13-й класс точности и шероховатость поверхности $Ra=10\div 2,5$ мкм. Однако процесс является довольно трудоемким и длительным, поэтому целесообразно организовывать автоматизированное производство. Применение способа литья по выплавляемым моделям позволяет снизить расход металла на 60—80% по сравнению с получением заготовки литьем в обычные песчаные формы. В стружку удаляется всего около 2—10% металла от массы заготовки.

Литье в оболочковые формы. Для получения заготовок по данному способу изготавливают прочные оболочки толщиной 5—10 мм, способные выдержать нагрузки, возникающие при заливке металла. В качестве материала оболочки применяют кварцевый песок, связанный терморезистивной смолой (пульвербакелит 4—6%). Терморезистивные смолы имеют свойство при нагревании переходить в жидкое состояние, а при дальнейшем нагревании необратимо отвердевать. На рис. 24, а дана схема образования оболочковых форм. На нагретую до 200—250°С

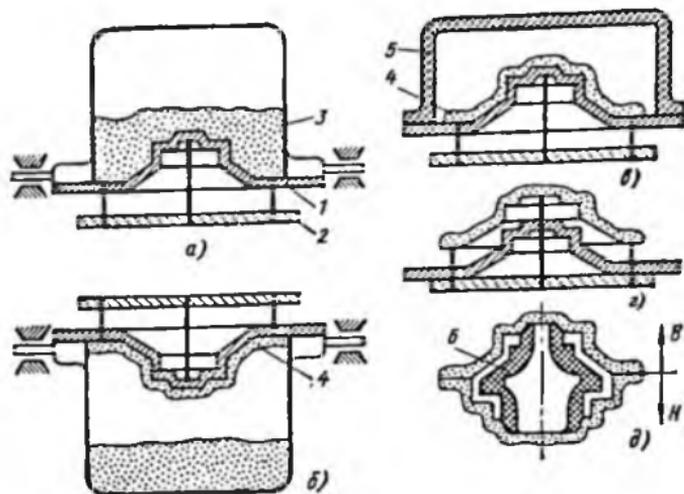


Рис. 24. Изготовление оболочковых форм

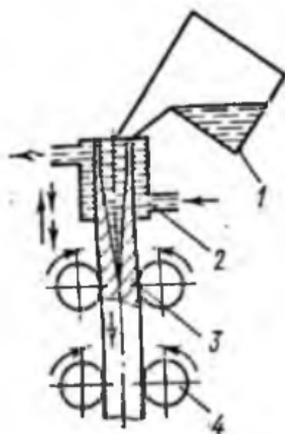
модель 1 наносится тонкий слой разделительной силиконовой жидкости и насыпается формовочная смесь 3. При определенной выдержке, зависящей от необходимой толщины оболочки, формовочная смесь затвердевает, после чего излишек непрореагировавшей на нагрев смеси удаляется путем переворота модели в цапфах (рис. 24, б). Затем модель с оболочкой 4 помещают в печь 5 (рис. 24, в) и выдерживают в течение 0,5—5 мин при температуре 300—450°С до полного отверждения смолы. Твердую оболочку-полуформу снимают с модели с помощью плиты 2 с толкателями (рис. 24, а), а затем соединяют с другой полуформой (рис. 24, з), предварительно поместив между ними стержень 6 (рис. 24, д). Полуформы и стержень соединяют между собой клеем или различными зажимами.

Собранную форму для повышения прочности можно помещать в металлические ящики и засыпать песком или дробью и в таком виде ее заливают металлом. После заливки металла форма под действием высокой температуры разрушается.

Процесс изготовления оболочковых форм можно легко автоматизировать. Литьем в оболочковые формы изготавливают заготовки массой до 25—30, а в отдельных случаях до 100 кг со стенками толщиной до 3 мм (для черных металлов) и до 2 мм (для цветных металлов). Шероховатость поверхности соответствует $Ra=20 \div 2,5$ мкм, точность — 12—13-му квалитетам. Потребность в формовочных материалах при этом способе литья сокращается в 8—10 раз, производительность повышается в 10—15 раз по сравнению с литьем в песчаные формы.

Основным недостатком способа литья в оболочковые формы является высокая стоимость термореактивных смол, примерно в 6 раз превышающая стоимость смеси для песчано-глинистой формы. Для получения оболочковых полуформ и стержней применяют одно- и многопозиционные машины с производительностью от 20 до 500 шт./ч.

Непрерывное литье в кристаллизаторах. Для производства заготовок удлиненных деталей постоянного сечения применяют процесс непрерывного литья. На рис.



25 показана одна из схем непрерывной отливки профиля. Жидкий металл из ковша 1 равномерно поступает в медный водоохлаждаемый кристаллизатор 2. Металл в кристаллизаторе затвердевает, приобретая заданную форму профиля 3, и с помощью тянущих валов 4 удаляется из кристаллизатора, освобождая место для следующих порций жидкого металла.

Профили, получаемые на установках непрерывной разливки стали, характеризуются однородностью структуры, высоким качеством поверхности и постоянными химическими и механическими свойствами. Заготовки,

Рис. 25. Схема непрерывного литья

полученные непрерывной разливкой, широко применяют при изготовлении втулок, дисков, шестерен и других кольцевых деталей. Некоторые преимущества сталей, полученных непрерывной разливкой, особенно однородность структуры и качество поверхности, способствуют хорошей механической обрабатываемости и достижению высоких пределов выносливости таких деталей, как шестерни и зубчатые передачи. На Вильнюсском заводе строительно-отделочных машин в настоящее время внедряют способ непрерывной отливки для производства деталей типа втулок.

§ 5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ

От правильной организации труда и качества технологических процессов в литейном производстве, четкости выполнения рабочих инструкций, правил по технике безопасности и производственной санитарии зависит снижение и устранение травматизма и профессиональных заболеваний среди рабочих. Со стороны мастера должно быть строгое наблюдение за приемами работы и дисциплинированностью рабочих.

Находясь на территории завода, в цехе, нужно быть внимательным к сигналам, нельзя проходить между литейными

машинами по непредусмотренным проходам, ~~снимаются~~ ~~и~~ ~~за~~ ~~грунт~~ ~~и~~ ~~т.д.~~
риалу, деталям, заготовкам. Находясь на ~~заготовках~~ ~~и~~ ~~т.д.~~
шадке, нельзя заглядывать в шахту ~~работника~~ ~~и~~ ~~т.д.~~
в момент ее выбивки, находиться вблизи ~~ковша~~ ~~и~~ ~~т.д.~~
его жидким металлом из плавильной печи, ~~снимать~~ ~~и~~ ~~т.д.~~
электрораспределительных щитов, снимать ~~и~~ ~~т.д.~~

Каждый из участков литья (землеприготовительный, формо-
вочный, плавильный, заливочный) имеет свои особенности
с точки зрения техники безопасности, поэтому каждый присту-
пающий к работе в литейном цехе должен изучить специфиче-
ские правила техники безопасности по инструкциям завода
и выполнять их.

Все участки литейного цеха должны быть оборудованы
системой приточно-вытяжной вентиляции с местными отсосами.
Содержание токсичных газов в рабочем помещении не должно
превышать допустимых норм. Помимо пыли и газов в литей-
ных цехах выделяется большое количество конвекционного и
лучистого тепла. Источниками тепла являются машины для
изготовления и отверждения форм, горячая модельная оснастка,
формы, стержни, расплав и горячие отливки. Чтобы рабочий
не утомлялся, необходимо иметь у каждого рабочего места
воздушный душ и снабжать цех подсоленной газированной
водой.

Глава 2

ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

§ 1. ВИДЫ РАЗДЕЛКИ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА НА ЗАГОТОВКИ

Изготовление заготовок способами обработки металлов дав-
лением в наибольшей степени удовлетворяет требованиям по-
вышения качества деталей и экономного расходования металла.
Большое число деталей строительного и дорожного машино-
строения, работающих в тяжелых условиях эксплуатации и в
настоящее время изготавливаемых резанием с использованием
литых или кованных заготовок, можно изготавливать прогрес-
сивными способами обработки давлением со значительным
технико-экономическим эффектом. Вопросам обработки метал-
лов давлением в учебнике уделено большое внимание. Рассмот-
ренные ниже способы позволяют получать заготовки, требую-
щие незначительной обработки резанием, а в некоторых слу-
чаях вообще не требующих ее.

В качестве исходного материала для изготовления загото-
вок пластическим деформированием чаще всего применяют про-

кат. Катаный металл разрезают на заготовки резкой на токарных полуавтоматах, пилах (ленточных, дисковых, рамовых), абразивами, на пресс-ножницах и в штампах на прессах, электрофизическими способами (электронскровым, электроэрозионным, анодно-механическим, электронным лучом, ультразвуком и т. п.), газовой резкой, резкой взрывом, ломкой, хладноломами.

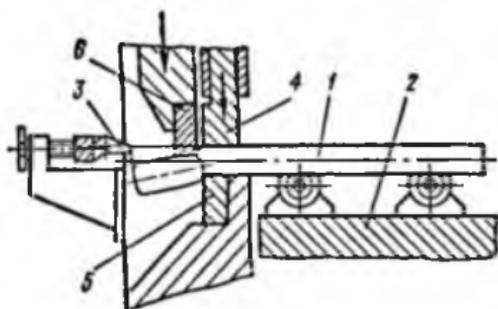


Рис. 26. Схема резки на пресс-ножницах

На заводах строительного и дорожного машиностроения наибольшее распространение получили первые четыре способа резки заготовок. При крупносерийном и массовом производстве заготовок предпочтение отдают резке в штампах на прессах и на пресс-ножницах, так как резка на пилах по производительности далеко уступает процессам резки на пресс-ножницах и в штампах на кривошипных прессах.

Резка на пресс-ножницах является наиболее дешевым и производительным процессом разделки проката на заготовки. Пресс-ножницы представляют собой эксцентриковые прессы различной конструкции, на которых режут прокат диаметром (стороной квадрата) от 15 до 300 мм. Наиболее распространенная схема резки на пресс-ножницах представлена на рис. 26. Пруток 1 по рольгангу 2 подается в зону реза до упора 3, установленного на требуемую длину заготовки. Прижимом 4 пруток 1 прижимают к нижнему ножу 5, после чего при движении ползуна с верхним ножом 6 вниз заготовка отрезается от прутка.

Процесс резки проката является довольно сложным, состоящим из последовательно протекающих этапов упругой и пластической деформации и заканчивающийся разрушением металла в плоскости сдвига. Продолжительность этапов и качество отрезанной заготовки зависят от свойств разрезаемого металла, формы и размеров разрезаемого проката, схемы резки, температурно-скоростных условий процесса резки, формы инструмента, зазора между ножами.

Легированные стали целесообразно резать с подогревом для уменьшения сопротивления деформации и во избежание обра-

зования трещин при резке. Чаще всего эти стали нагревают до 800°С. Нагрев до более высоких температур нежелателен по причинам интенсивного окалинообразования и сильного искажения формы заготовки.

Для резки пруткового материала применяют одноручьевые, многоручьевые, цельные, разрезные ножи и ножи со вставками. Многоручьевые ножи позволяют разрезать поочередно или одновременно в двух или трех ручьях. Для экономии инструментальных сталей ручки могут быть расположены на двух, трех и даже четырех гранях ножа. Ножи со вставками применяют для экономии дорогостоящей инструментальной стали. В настоящее время применяют несколько способов увеличения стойкости ножей. Наибольшее распространение получил способ наплавки рабочих кромок твердыми сплавами. Для изготовления ножей чаще всего применяют стали 5ХГМ, 4ХС, 8ХЗ, У10 и др.

Выбор пресс-ножниц зависит от силы резки

$$P_p = kF\tau_{cp},$$

где k — коэффициент, учитывающий влияние таких факторов, как затупление кромок, скорость резки и др., определяется экспериментально (для расчетов можно принять $k=2$); F — площадь разрезаемого профиля, м²; τ_{cp} — сопротивление срезу, равное $0,8\sigma_{вт}$, МН/м², здесь $\sigma_{вт}$ — предел прочности разрезаемого материала при температуре реза.

По расчетной силе P_p и наибольшему размеру прутков в каталоге выбирают необходимый тип ножниц. В кузнечных цехах применяют более 15 типоразмеров пресс-ножниц с усилием на ножах от 0,25 до 25 МН.

Для обеспечения необходимой точности и качества резки заготовок пресс-ножницы снабжены вспомогательными механизмами упора, прижима и дозирующими устройствами. Эти механизмы выполнены в виде гидравлических, пневматических или пружинно-рычажных систем.

Резка в штампах на кривошипных прессах позволяет получать заготовки более точные по форме и размерам, поскольку конструкции штампов могут быть максимально приспособлены к требованиям резки, определяемым свойствами металла и размерами прутка, что не всегда возможно при резке на ножницах.

Разработано несколько способов резки в штампах. Получили распространение в основном открытый консольный и полузакрытый способы резки. По первому способу резку производят при поперечном зажиме разрезаемого прутка без зажима отрезаемой заготовки. Так как отрезаемая часть расположена консольно, процесс резки сопровождается изгибом, утяжиной боковой поверхности и сколом. Отрезанная заготовка имеет искаженные торцы, угол скола достигает 10°. Эта схема при-

менима при невысоких требованиях к форме заготовки и для резки заготовок длиной, равной не менее одного диаметра.

Открытый способ резки характеризуется возможностью осевого перемещения отрезаемой заготовки и разрезаемого прутка в процессе резки, а также возможностью изгиба в радиальном направлении. Наличие нескольких степеней свободы приводит к получению заготовок с характерными дефектами.

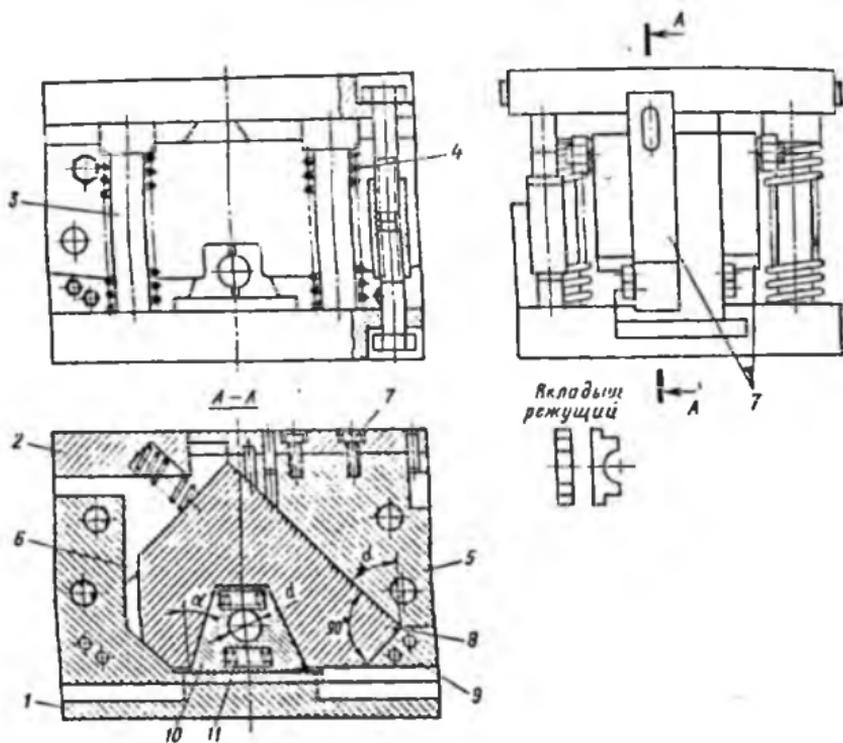


Рис. 27. Штамп для резки с дифференцированным зажимом прутка

Для их устранения желательно ограничить число степеней свободы отрезаемых заготовок и прутка. На рис. 27 представлен штамп для резки прутков с раздельным поперечным зажимом прутка и отрезаемой части. Особенностью конструкции штампа является возможность приложения значительного поперечного усилия, меняющегося по величине в процессе резки от нуля до максимума, причем максимальная величина усилия прижима равна (или больше) силе резки.

Штамп состоит из нижней 1 и верхней 2 плит, соединенных четырьмя направляющими колонками 3, которые снабжены пружинами 4, удерживающими плиту 2 в верхнем положении.

К верхней плите прикреплены клинья 5 и 6, расположенные параллельно друг другу со скосами, направленными в противоположные стороны под углом 45° . Клинья скреплены между собой плитами 7 и перемещаться относительно друг друга не могут. На скосах клиньев сделаны Т-образные пазы, в которых ходят ползушки 8. Перемещение вниз ползушек 8 при верхнем положении плиты 2 ограничено упорами 9, ножевые вставки 10

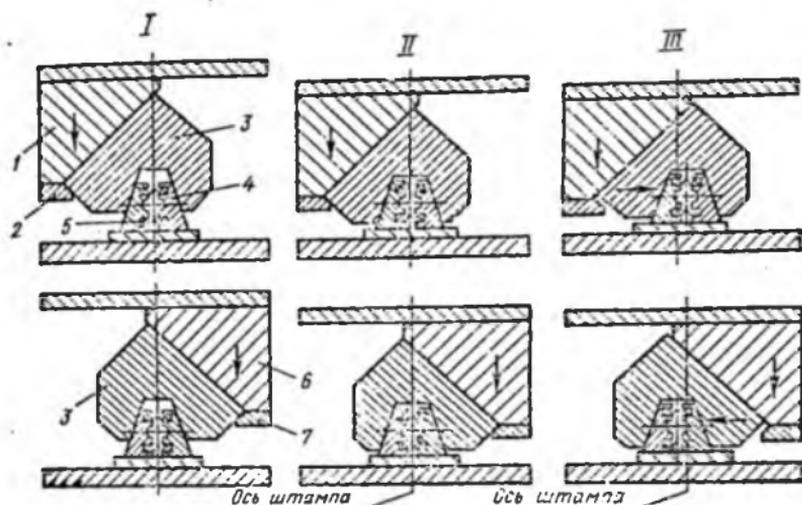


Рис. 28. Схема работы штампа

состоят из четырех частей, расположенных попарно друг за другом. В исходном состоянии они разведены пружинами 11.

Схема работы штампа приведена на рис. 28. В верхнем ряду рисунка показаны стадии работы левого заднего клина, задней ползушки и ножевых вставок; в нижнем ряду — стадии работы правого переднего клина, передней ползушки и ножевых вставок. В стадии I клинья 1 и 6 находятся в верхнем положении, ползушки 3 опираются на упоры 2 и 7. Ножевые вставки 4 разведены пружинами 5. В стадии II при опускании ползуна пресса ножевые вставки под действием скосов ползушек зажимают прутки и отрезаемую часть. При дальнейшем опускании ползуна пресса (в стадии III) передняя пара ножевых вставок с зажатой отрезаемой частью перемещается влево под действием клина 1, а задняя — вправо под действием клина 6. Таким образом происходит отделение заготовки от прутка в горизонтальной плоскости. При обратном ходе ползуна все части штампа возвращаются в исходное положение.

Для получения качественной резки необходимо, чтобы сила зажима P_3 была равна или больше силы резки P_p :

$$P_3 > kP_p,$$

где k — коэффициент, определяемый опытным путем, $k=1,5 \div 2$.

Различные отношения P_3/P_p можно получать, изменяя угол α . Необходимым условием является $\alpha < \alpha_1$. Скорость резки v_p должна быть больше 1 м/с. При $v_p < 1$ м/с на торце заготовки появляется S-образная волна. В штампе можно резать профиль диаметром до 50 мм. Длина отрезаемых заготовок должна быть более 0,7 диаметра сечения.

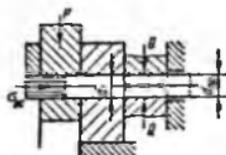
Таблица 4

Сопоставление различных методов резки

Оборудование для резки	Продолжительность, сут/мин	Отходы материала, %	Качество поверхности среза	Отклонение по длине отрезанного прутка, мм	Отклонение от перпендикулярности торца	Отклонение по массе, %	Область применения на основании отсчета 1/д
Пилы: дисковые ленточные рамовые	7—9 4—12 4—10	8—15	Сравнительно гладкая блестящая поверхность	$\pm 1,0$ — —1,5	30'—1°	6—8 6—8 8—10	0,8
Ножницы	20—45	3—5	Поверхность с вырывами, небольшие трещины типа раковин	$\pm 1,5$ — —3,0	7—8°	8—10	1,0
Резка на прессе со специальным инструментом	40—80	3—5	Поверхность с вырывами, вырывы типа раковин, овальность	$\pm 0,5$ — —0,9	1—4°	4—7	0,5
Пробивной штамп	40— 300	15—40	Одностороннее закругление по краю	$\pm 0,3$	30'—1°	2—3	0,8
Автомат (резка на токарных автоматах)	3—5	10—15	Гладкая	$\pm 0,6$ — —1,0	30'—1°	1—2	0,8
Анодно-механическая резка	4—7	3—10	Шероховатая	$\pm 1,0$ — —1,5	30'—1°	2—3	0,8
Безотходная резка сдвигом	40—70	0,3— 0,5	Гладкая, подобна шлифованной	$\pm 0,2$	30'—1°	1—2	0,2— 0,3

В табл. 4 дано сопоставление различных методов резки заготовок. Данные таблицы свидетельствуют о том, что каждому способу резки присущи свои достоинства и недостатки. Наблюдается такая закономерность: наиболее производительные способы резки обеспечивают малый отход металла, но дают плохое качество поверхности среза. Исключение составляет лишь способ резки сдвигом с зажимом прутка и отрезаемой заготовки.

Рис. 29. Схема резки заготовок с осевым подпором



Приведенные способы резки позволяют отрезать сравнительно длинные заготовки ($l \geq 0,7d$, где l — длина заготовок; d — диаметр заготовок). Для получения коротких заготовок разработан способ закрытой резки (рис. 29). Ее особенностью является наличие осевого подпора в процессе резки. Наличие осевого сжатия ($\sigma_{ос} \geq \sigma_s$) создает благоприятную схему напряженного состояния в зоне среза, тем самым повышает пластичность металла и устраняет возможность возникновения трещин. В условиях такой схемы напряженного состояния можно разрезать прутки на заготовки длиной 0,1 диаметра с высокой геометрической точностью и чистотой поверхности резки.

§ 2. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Процессы формообразования заготовок осуществляют в основном при комнатной температуре (холодная штамповка), при температуре, когда интенсивного окалинообразования еще не происходит (полугорячая штамповка); при высоких температурах (горячая штамповка). При холодной штамповке получают высокую точность и малую шероховатость поверхности.

Механические характеристики деталей, полученных холодным деформированием (пределы прочности и текучести, ударная вязкость), возрастают в 2—3 раза по сравнению с исходным состоянием. Коэффициент использования металла увеличивается до 0,8—0,9. Для осуществления процесса холодного деформирования необходимы давления, достигающие величин 2000—2500 МН/м². Чтобы выдержать такое давление, необходим инструмент, изготовленный из высокопрочных материалов. Для снижения давления при сохранении высокой чистоты и точности применяют подогрев заготовок до температур, при которых еще не происходит интенсивного окалинообразования

(для стали до температуры 700—750° С). Предел прочности металла при этом снижается в 4—5 раз.

Применение полугорячего деформирования позволяет получать качественные детали из высокоуглеродистых и легированных сталей 35, 40X, 45, 50, У10, У12, ШХ15, 12Х18Н9Т и др. По сравнению с холодным деформированием повышается пластичность, что дает возможность получать детали за один переход с большими степенями деформации. Высокая точность (9—11-й квалитеты) и малая шероховатость поверхности ($Rz=40\div 20$ мкм) позволяют уменьшить припуски на механическую обработку, а иногда и полностью ее исключить.

Чаще всего на заводах строительного и дорожного машиностроения применяют горячее деформирование, осуществляемое при высоких температурах нагрева заготовки (в зависимости от химического состава стали температура равна 1000—1250° С). При таких температурах предел прочности стали снижается в 10 раз и более.

Сопротивление деформации в обычном интервале температур штамповки растет при увеличении содержания углерода. Температура горячего деформирования для низкоуглеродистой стали равна 900—1150° С. Допустимая начальная температура при выдаче заготовки из печи составляет 1250—1300° С. Максимальная температура нагрева каждой стали обусловлена ее чувствительностью к перегреву и обезуглероживанию. Практически температуруковки назначают на 100—150° С ниже линии солидуса по диаграмме состояния железо—углерод.

§ 3. ПРОГРЕССИВНЫЕ СПОСОБЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗАГОТОВОК

К прогрессивным способам формообразования заготовок относят профилирование заготовок под последующую штамповку, вальцовку, выдавливание, безоблойную или малоотходную штамповку, точную штамповку, радиальную и ротационную штамповку, процессы редуцирования валов, зубчатых и шлицевых соединений, штамповку шестерен с оформленным зубом, накатку зубьев и шлицев, электровысадку, высокоскоростную штамповку, электромагнитную и электроразрядную штамповку, изотермическую штамповку.

Профилирование заготовок перед штамповкой осуществляют с целью приближения формы исходной заготовки к форме требуемой поковки. Предварительное профилирование заготовок позволяет получать сложные поковки за один переход, повышая производительность основного оборудования, стойкость штампов и уменьшая расход стали за счет сокращения габаритных размеров штампов. Для штамповки применяют простой и профилированный прокат. Если нет трудностей, связанных с резкой проката, то целесообразно применять такие профили.

после резки которых заготовки не требуют дополнительного фасонирования и могут быть подвергнуты штамповке непосредственно в чистовом ручье штампа.

Успешное использование профильного проката во многом зависит от производительности способа его резки на заготовки. Следует учитывать также наличие отходов при разрезке дорогостоящих прутков профильного проката. Необходимо решать вопрос о рациональном использовании этих отходов. Концевые отходы могут быть использованы для штамповки других деталей или подвергаться повторному деформированию прокаткой, свободной ковкой и т. п. На некоторых заводах концевые отходы прокатывают на специальных станках и получают профили необходимой конфигурации для других деталей. В отрасли строительного и дорожного машиностроения намечено создание участков для протяжки концевых отходов диаметром 120—60 мм на более мелкие профили диаметром 50—36 мм. Такие участки при двухсменной работе ежегодно будут перерабатывать около 3 тыс. т концевых отходов.

В качестве профилирующей операции применяют также вырезку фасонных заготовок из полосового материала. Вырезка на прессе фасонных заготовок из полосы позволяет штамповать их непосредственно в чистовом ручье. Процесс связан со значительными потерями металла.

Вальцовка заготовок. В кузнечных цехах наибольшее распространение получил способ профилирования заготовок на ковочных вальцах. Процесс вальцовки высокопроизводителен и экономичен. Процесс представляет собой разновидность прокатки и осуществляется на специальном оборудовании — ковочных вальцах. Заготовка деформируется между вращающимися валками, на которых закреплены штампы (секторы). Ручьи штампов имеют форму и размеры, соответствующие получаемой заготовке (рис. 30).

Различают следующие виды вальцовки: формовочную, применяемую для получения фасонных заготовок под последующую штамповку на прессе или молоте; штамповочную, применяемую для получения отштампованных заготовок; отделочную, применяемую для холодной вальцовки деталей вместо обработки резанием. Путем формовочной вальцовки можно исходную заготовку превратить в фасонную штучную заготовку или в периодический профиль. В зави-

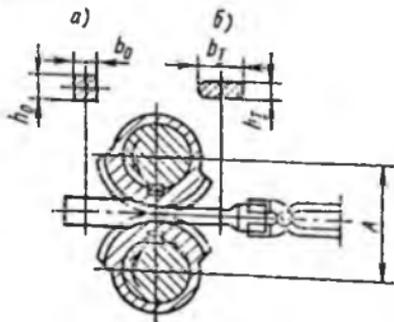


Рис. 30. Схема вальцовки заготовок

симости от сложности конфигурации заготовки обработку ведут в одном или нескольких открытых или закрытых ручьях.

При одноручьева вальцовке ширина ручья равна ширине исходного профиля. При постоянной ширине протягиваемого профиля, равной ширине исходного профиля в процессе штамповки стержневой части детали, которая, как правило, всегда уже головки, лишний по ширине металл откусывается штампом, что помимо перерасхода металла ведет к преждевременному износу штампа.

Многоручьева вальцовка позволяет значительно приблизить форму сечения заготовки к форме готовой поковки. Наиболее экономична двухпереходная вальцовка, которую производят из штучных заготовок, нарезанных на пресс-ножницах. Формоизменение сечений заготовки производится в ручьях, имеющих форму круга, овала, квадрата, ромба, эллипса. Двухпереходную вальцовку применяют для профилирования заготовок с вытянутой осью, с одним или несколькими утолщениями на концах или посередине.

Предварительное профилирование вальцовкой применяют для поковок из конструкционных углеродистых и легированных сталей. Диаметр исходных заготовок 20—130 мм, длина 180—900 мм. Из существующих способов профилирования заготовок вальцовка является наиболее прогрессивным. Периодическая прокатка как поперечно-винтовая, так и продольная рациональна только в условиях массового производства. Подготовка заготовок вальцовкой применима для серийного и крупносерийного производства.

Вальцовка заготовок и последующая штамповка осуществляются с одного нагрева, в то время как использование периодического и профильного проката предусматривают повторный нагрев перед штамповкой. При нагреве и резке фасонного проката возникают трудности, связанные с неравномерным нагревом заготовок сложного сечения, понижением стойкости ножей и усложнением конструкции режущих инструментов.

Широкое применение подготовки заготовок на ковочных вальцах в условиях машиностроительных заводов содержит в себе значительный резерв повышения производительности труда и экономии металла. При разработке технологического процесса вальцовки вначале определяют площадь сечения исходной заготовки исходя из максимального сечения готовой детали с учетом потери металла на угар и в облой. Высота профиля исходной заготовки должна быть равна или на 10—15% превышать максимальную высоту вальцованной заготовки.

При проектировании штампов для вальцов необходимо, чтобы радиусы катания верхней и нижней половин штампа были равны между собой. При несимметричных фигурах поковок наиболее сложный контур ручья следует выполнять в верх-

ней половине штампа с радиусом катания, большим на 3—5 мм радиуса катания нижней половины. Профиль канавки для облоя следует выполнять с мостиком шириной 6—10 мм и открытой полостью. Зазор между половинами штампа должен быть равным 1—3 мм в зависимости от сложности контура поковки и размеров поперечного сечения.

Длина дуги штампа с учетом опережения

$$l_{шт} = l_{п} + (20 + 50) = 0,01745 R\beta,$$

где $l_{п}$ — длина поковки, мм; R — радиус катания штампов, мм; β — центральный угол штампа, град.

Усилие, необходимое для вальцовки поковки:

$$P = 2F\sigma_{в},$$

где F — площадь поверхности вальцуемого материала в зоне его сжатия, м²; $\sigma_{в}$ — предел прочности материала при температуре вальцовки, МН/м².

Штампы в большинстве случаев изготавливают из стали 5ХНМ, стойкость их в среднем достигает 6000 поковок. Для осуществления процесса вальцовки применяют ковочные вальцы, которые обычно устанавливают непосредственно у штамповочного оборудования. На отечественных заводах изготавливают одноклетьевые ковочные вальцы (консольные и двухпорные), автоматические многоклетьевые ковочные вальцы с толкателем и автоматические двухклетьевые ковочные вальцы с непрерывным процессом вальцовки. Одноклетьевые ковочные вальцы получили наибольшее распространение. Их используют в серийном производстве, они рассчитаны на усилия 0,20; 0,50; 0,80; 1,12 МН с межцентровым расстоянием соответственно 160, 250, 320, 400 мм.

Поперечно-винтовой прокаткой получают заготовки типа шаров диаметром 27—125 мм, цилиндров диаметром 25—110 мм, кольцевых поковок с наружным диаметром 58—112 мм, внутренним диаметром 32—45 мм, длиной 14—50 мм, оребренных труб длиной 1800—3600 мм, наружным диаметром 60—150 мм, диаметром впадин 45—75 мм, внутренним диаметром трубы 32—60 мм. При поперечно-винтовой прокатке формообразованные заготовки из прутка происходят последовательно в заходной и калибрующей частях (рис. 31). Процесс осуществляется непрерывно. Заготовку нагревают до температуры 900—820°С.

Поперечную прокатку шаров осуществляют постепенным формированием прутковой заготовки с образованием отдельных шарообразных заготовок и перерезанием перемычек. Формирование шара в последней отделочной части калибра должно происходить при небольших усилиях обжатия, достаточных только для сглаживания неровностей проката.

Важным моментом при разработке технологии является выбор диаметра исходной заготовки. При неправильно выбранном

диаметре исходной заготовки в металле могут образоваться трещины и рыхлоты. Чтобы уменьшить опасность появления рыхлот в сердцевине шара, диаметр исходной заготовки должен быть меньше требуемого диаметра поковки, т. е.

$$D_{нар} = (0,88 + 0,95) D_{п.}$$

Величину захватывающей (заборной) части калибра выбирают с учетом объема металла, идущего на формообразование шара и перемычки, а также обратного движения металла.

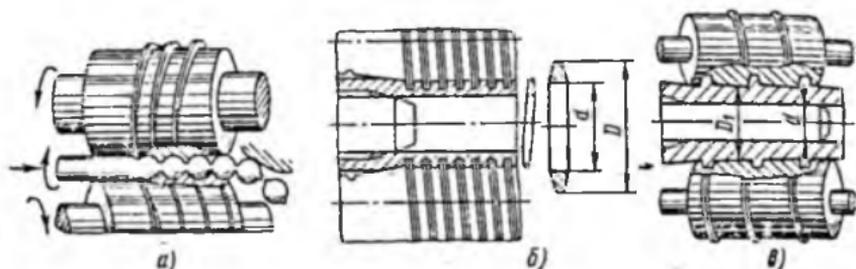


Рис. 31. Схемы поперечно-винтовой прокатки заготовок; а — шаровых; б — кольцевых; в — ребреных труб

Максимальный диаметр валков

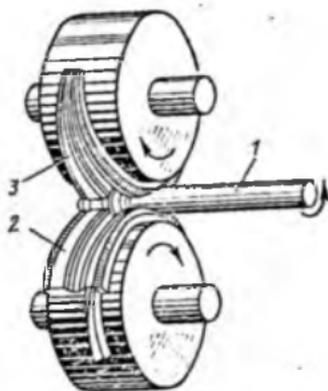
$$D_{п.} = \frac{t}{\operatorname{tg} \alpha},$$

где t — номинальный шаг нарезки; α — угол подъема нарезки, составляющий не более 6° .

Валки для прокатки поковок шаров размольных мельниц изготавливают из стали 30ХГСА или 35ХГСА. Их стоимость до полного износа составляет от 80 до 200 тыс. руб., для шаров диаметром от 40 до 80 мм. При изготовлении кольцевых поковок в качестве исходной заготовки применяют трубу. В трубу вставляют оправку, и вместе с оправкой труба поступает во вращающиеся валки, на поверхностях которых по винтовой линии расположены реборды. Труба захватывается валками и, вращаясь, продвигается по осевой линии, постепенно обжимаясь между ребордами. За каждый оборот валков отрезается одна поковка. Полученная поковка имеет внутренний заусенец и наклонные торцы. Заусенец обрезают на металлорежущих станках. Заготовку в случае необходимости повторно нагревают и штампуют до окончательных размеров.

По такому же принципу изготавливают и втулочные поковки. Агрегат для изготовления кольцевых и втулочных поковок состоит из двух станков (прошивного и прокатного, расположенных параллельно) и индукционного нагревателя. Заготовку в виде сплошного прутка проталкивают через индуктор,

Рис. 32. Схема поперечно-клиновой прокатки заготовок



где она нагревается до температуры 900°C и автоматически подается на прошивной стан. На прошивном стане ее прошивают, получая трубную заготовку, которая без дополнительного подогрева передается на прокатный трехвалковый стан.

Поперечно-клиновую прокатку применяют для изготовления круглых заготовок периодического профиля диаметром до 100 и длиной до 500 мм. Максимальный перепад диаметров не должен превышать трехкратного размера заготовки. Сущность процесса заключается в следующем. Заготовку 1 (рис. 32) устанавливают поперек валков, на поверхности которых укреплены клиновые штампы 2, 3. Заготовка валками вращается в сторону, противоположную вращению валков. Штампы клинообразной формы при вращении действуют на заготовку, создавая высокое давление и заставляя течь металл в осевом направлении. В зависимости от конфигурации клиновых штампов поверхность заготовок может иметь цилиндрическую, коническую или сферическую форму. Полное формообразование профиля осуществляется за один оборот валков. Точность получаемых размеров достаточно высокая.

Выдавливание (прессование) заготовок. Под выдавливанием принято понимать формообразование деталей переменного сечения путем вытеснения металла исходной заготовки в зазор, образуемый рабочим инструментом (пуансоном и матрицей), или в очко. Процесс выдавливания в настоящее время осуществляется по четырем основным схемам, которые отличаются направлением течения металла (рис. 33).

1. **Прямое выдавливание.** Металл исходной цилиндрической заготовки выдавливается пуансоном через калибрующее очко. Направление течения металла совпадает с направлением движения пуансона. Выдавливают сплошные детали типа стержня с утолщением (рис. 33, а), либо пустотелые (рис. 33, б). В последнем случае используют исходную заготовку в форме втулки.

2. **Обратное выдавливание.** Металл исходной цилиндрической заготовки под действием пуансона выдавливается в кольцевой зазор, образованный пуансоном и стенками матрицы (рис. 33, в). Металл течет навстречу движению пуансона. По такой схеме изготавливают детали типа втулок, стаканчиков, гаек и т. п. Другая схема обратного выдавливания

(рис. 33, г) предусматривает течение металла заготовки в полость пуансона. В отличие от схемы прямого выдавливания в этой схеме исключается перемещение исходной заготовки относительно стенок матрицы, благодаря чему снижается контактное трение.

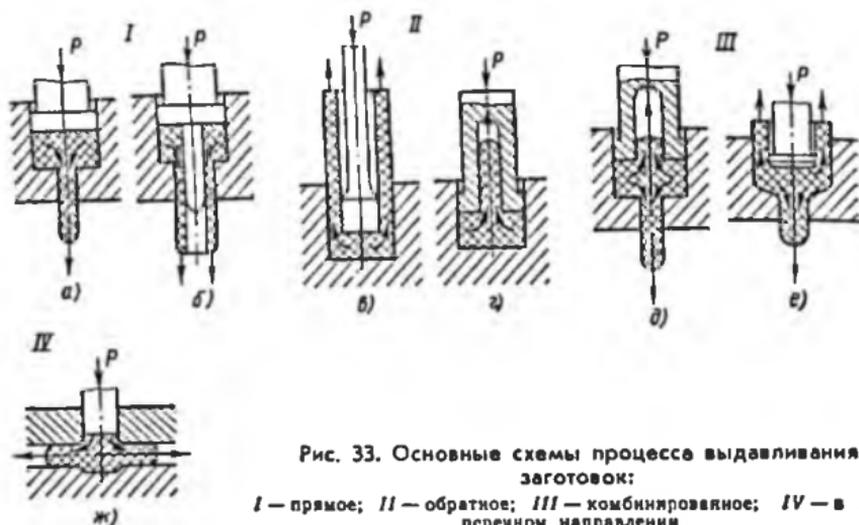


Рис. 33. Основные схемы процесса выдавливания заготовок:

I — прямое; II — обратное; III — комбинированное; IV — в поперечном направлении

3. Комбинированное выдавливание. При комбинированном выдавливании металл исходной заготовки течет одновременно в двух противоположных направлениях. По схемам комбинированного выдавливания изготавливают детали типа стержня с утолщением посередине (рис. 33, д) или типа стержня с пустотелой или фасонной головкой (рис. 33, е).

4. Выдавливание в поперечном направлении. На рис. 33, ж показана одна из схем этого способа выдавливания. В зависимости от конфигурации детали существует большое разнообразие схем, согласно которым металл может течь в разных направлениях, отличных от осевого. Процессы выдавливания в поперечных направлениях чаще называют штамповкой в разъемных матрицах.

Процессы выдавливания осуществляют в холодном, полугорячем и горячем состояниях металла. Выдавливание в разъемных матрицах осуществляют преимущественно только в горячем состоянии.

Холодное выдавливание широко распространено. Этим методом изготавливают многие детали сельскохозяйственных, дорожных, строительных и других машин. Основным преимуществом холодного выдавливания является возможность получения за одну операцию, выполняемую при комнатной температуре, значительных степеней деформации (до 80%). Трудоемкость

изготовления и себестоимость значительно снижается благодаря сокращению числа операций и единиц занятого оборудования, уменьшению отходов металла, а также возможности комплексной механизации и автоматизации процесса. Благодаря упрочнению при пластической деформации, направлению волокон вдоль конфигурации детали повышаются показатели сопротивления детали нагрузкам. Предел прочности малоуглеродистых сталей (около 700 МН/м^2) приближается к значениям предела прочности термически обработанных низколегированных сталей. Эксперименты показали, что при степени деформации 40% предел текучести литой стали повышается с 126,5 до 590 МН/м^2 , а при степени деформации 70% — до 724 МН/м^2 , при этом сохраняются высокие значения коэффициента удлинения. Предел текучести при степени деформации в 40% увеличивается для стали в среднем до 500%, а предел прочности — до 200%. Упрочнение, благоприятное расположение волокон и значительные степени деформации, измельчающие зерно, позволяют повысить такие ответственные эксплуатационные характеристики, как усталостная прочность и вибропрочность. Повышение надежности детали в эксплуатации происходит также благодаря улучшению микрогеометрии поверхности.

При холодном выдавливании коэффициент использования металла повышается на 10—30% по сравнению с литьем и горячей штамповкой, а по сравнению с резанием — в 2—3 раза. Эффективность применения холодного выдавливания повышается при изготовлении сложных по форме деталей, а также асимметричных с большими перепадами сечений или наличием полостей. Обработка резанием таких деталей связана с большим расходом инструмента, трудоемкостью и значительным отходом металла в стружку; кроме того, перерезаются волокна и снимается упрочненный слой с поверхности заготовки. Особенно целесообразно применение холодного выдавливания при изготовлении деталей из цветных и других металлов и сплавов высокой стоимости.

При крупносерийном и массовом производстве значительная экономия достигается за счет снижения трудоемкости. Применение для холодного выдавливания многопозиционных прессов-автоматов позволяет увеличить производительность по сравнению с автоматами для обработки резанием в 10—15 раз.

Номенклатура деталей, изготавливаемых холодным выдавливанием, довольно широка. Размеры выдавливаемых деталей ограничены только прилагаемым усилием и технологическими возможностями применяемого оборудования. На прессах удается выдавливать детали высотой от 5 до 1200 мм с наружным диаметром от 5 до 150 мм. На отечественных предприятиях методом холодного выдавливания получают детали диаметром до 120 и длиной до 300 мм.

Металлы для холодного выдавливания. Холодному выдавли-

ванию могут быть подвергнуты стали, обладающие низким пределом текучести, малой склонностью к упрочнению и достаточной пластичностью. Для выдавливания подавляющего числа стальных деталей применяют низкоуглеродистые и низколегированные конструкционные стали, и только в отдельных случаях применяют среднеуглеродистые и среднелегированные стали. В ряде случаев холодным выдавливанием изготавливают детали из нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов. Выдавливание их обычно производят за несколько переходов при малых степенях обжатия с применением промежуточных отжигов. На способность стали к выдавливанию существенное влияние оказывает содержание углерода. При увеличении содержания углерода в стали на 0,1% происходит рост сопротивления деформированию на 100—200 МН/м². Легирующие элементы и примеси также оказывают значительное влияние на сопротивление деформированию. По степени влияния их располагают в следующем порядке: кремний, марганец, алюминий, молибден, никель, ванадий, вольфрам, хром. Для выдавливания применяют стали 0, 5, 10, 15, 20, 45, 20Х, 40Х, 45Х, 18ХГТ, 20ХФ, 12ХНЗА, 40ХН, 40Г и др. Исходная структура должна быть мелкозернистой и равномерной. Из цветных металлов холодному выдавливанию подвергают алюминий, магний и их сплавы, медь, латунь, свинец и др.

Подготовка поверхности заготовок. Процесс холодного выдавливания характеризуется высокими давлениями (2000—2500 МН/м² для стали) и большими силами трения между заготовкой и инструментом. Для снижения контактного трения применяют различные покрытия и смазку заготовок и инструмента.

К смазкам для холодного выдавливания предъявляют определенные требования. Смазки должны обладать способностью уменьшать коэффициент внешнего трения μ , исключать задиры на поверхности деформируемого металла и его налипание на инструмент, обладать высокой адгезией к поверхности деформируемого металла, высокой пластичностью (поверхность скольжения должна проходить внутри смазочного слоя), высокой термостойкостью и теплоемкостью. Требование высокой термостойкости и теплоемкости диктуется тем обстоятельством, что в процессе выдавливания вследствие теплового эффекта металл заготовки нагревается до 250—300° С.

Для исключения контакта заготовки с инструментом толщина промежуточного слоя смазки должна быть не менее 0,1 мкм. Толщина слоя смазки, ее способность выдерживать большие деформации без разрушения, помимо свойств самой смазки, зависят от физико-химической природы поверхностей контакта. Для увеличения адгезии смазки к металлу поверхность заготовки перед выдавливанием покрывают подсмазочным слоем. Образование подсмазочного слоя (носителя смазки)

осуществляется обычно путем химической или электрохимической обработки поверхности заготовки.

Углеродистые и низколегированные стали перед холодным выдавливанием фосфатируют, а затем омыливают. Процесс фосфатирования заключается в обработке заготовок в фосфорнокислых солях цинка, марганца, железа. В процесс подготовки заготовок для холодного выдавливания (после резки) входят следующие операции: отжиг, очистка от окалины, фосфатирование, омыливание. Эти операции необходимы для уменьшения твердости, контактного трения и повышения пластичности исходного металла. Исходной заготовкой для холодного выдавливания служит пруток, разрезанный в специальных отрезных штампах, на пилах и на станках. Номинальные размеры заготовок выполняют с таким расчетом, чтобы заготовка свободно входила в матрицу. Для этого достаточно иметь зазор 0,1—0,2 мм.

Для изготовления большинства деталей холодным выдавливанием рекомендуется использовать калиброванный пруток. Заготовки для выдавливания должны иметь торцы, перпендикулярные оси симметрии. В заготовках с косыми торцами возникают эксцентрично приложенные усилия на пуансоне и снижается их стойкость. Заготовки, изготовленные на отрезных станках, имеют точность по длине $\pm 0,1$ мм и чистоту среза $Ra = 10,0 \div 3,2$ мкм. Для получения заготовок с торцами, перпендикулярными оси, рекомендуется применять токарные отрезные автоматы 1240-0.

Отжиг заготовок. Уменьшение твердости исходного материала, а также снижение его сопротивления деформированию с одновременным повышением пластичности достигается с помощью отжига. Отжиг обязателен, так как заготовки изготавливают из калиброванного прутка. По существующим в настоящее время условиям исходный профиль, отожженный в состоянии поставки, является малопригодным для выдавливания вследствие его повышенной твердости. Отжиг рекомендуется производить в безокислительной атмосфере.

Фосфатирование заготовок. Одним из важных факторов, определяющих возможность успешного осуществления процесса холодного выдавливания, является смазка заготовок, которая должна быть нанесена равномерным слоем. Применение смазок позволяет уменьшить коэффициент трения, а следовательно, и давление, повысить стойкость инструмента и качество детали.

Наиболее широко и успешно применяют покрытия фосфатнокислым цинком (фосфатирование) с последующим омыливанием. Процесс фосфатирования имеет следующие операции.

1. Обезжиривание, которое производится в растворе каустической соды тринатрийфосфата, кальцинированной соды и жидкого стекла. Температура раствора 70—80° С. Если отжиг

произведен в безокислительной атмосфере, обезжиривание не обязательно.

2. Промывка в холодной воде при температуре 15—20° С в течение 0,5—1 мин.

3. Травление в растворе серной кислоты и присадки КС при температуре 24—40° С или растворе соляной кислоты в течение 10—15 мин без нагревания.

4. Промывка в холодной воде при температуре 15—20° С в течение 0,5—1 мин.

5. Промывка в горячей воде при температуре 60—50° С в течение 0,5—1 мин.

6. Фосфатирование, которое производится в растворе монофосфата цинка и азотнокислого натрия. Температура раствора 60—70° С в течение 15 мин. Общая кислотность 60—70 точек, свободная кислотность 4—6 точек.

7. Промывка в горячей воде при температуре 50—60° С в течение 0,5—1 мин.

8. Омыливание в растворе хозяйственного мыла 200 г/л в течение 10 мин при температуре 60—70° С.

9. Сушка на воздухе до полного высыхания.

10. Выдавливание.

Сталь, легированную никелем, никель, медно-никелевые, никелевые и другие сплавы, не образующие при фосфатировании подсмазочного слоя, оксидируют (обрабатывают солями щавелевой кислоты).

Подготовка алюминиевых заготовок. Заготовки из алюминия и алюминиевых сплавов для получения слоя носителя смазки анодируют. Процесс анодирования (анодное оксидирование) заключается в образовании на поверхности металла пленки оксидов того же металла при электролизе. Анодирование алюминиевых сплавов производится в растворе серной кислоты (190—200 г/л) при плотности тока 0,8—1,0 А/дм²; напряжении 11—12 В, отношении площадей анода к катоду 1—3, температуре раствора 20—25° С в течение 20—25 мин. После анодирования заготовки пропитывают животным техническим жиром.

Выдавливание заготовок из стали. Стальные заготовки можно выдавливать в холодном состоянии по схемам I, II, III (см. рис. 33). Одним из важных факторов, влияющих на процесс выдавливания стали, является исходная структура заготовки. Стали, имеющие мелкозернистую структуру, требуют больших усилий выдавливания, чем стали с тем же химическим составом, но с довольно крупными зернами глобулярного карбида. Наиболее благоприятной структурой для холодного выдавливания является структура с равномерным распределением мелких карбидов. Твердость стальных заготовок не должна превышать величины **HRC 60**.

Усилие выдавливания увеличивается прямо пропорционально степени деформации. Учитывая высокие давления, возникающие

при холодном выдавливании стали, степень деформации следует ограничивать примерно до 60% при первом переходе и до 40% — на последующих.

При многопереходном технологическом процессе возможности процесса значительно расширяются как по маркам деформируемых сталей, так и по конфигурации деталей. Многопереходный процесс выдавливания требует промежуточных отжигов.

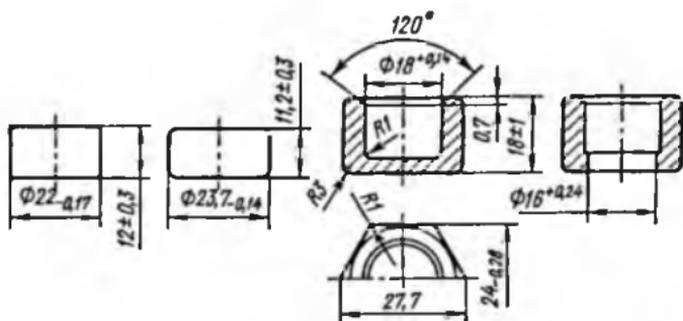


Рис. 34. Технологические переходы изготовления накидной гайки холодным выдавливанием

На заводах строительного и дорожного машиностроения процесс холодного выдавливания применяют для изготовления накидных гаек и деталей типа втулок. Технологический процесс изготовления заготовки накидной гайки рукавов высокого давления (рис. 34) состоит из отрезки заготовки от круглого проката в штампе на прессе, калибровки, отжига, фосфатирования, обратного выдавливания за один переход, пробивки доньшка. При выдавливании деталей типа втулок, имеющих отношение высоты к диаметру более двух, обратное выдавливание производят за два и более перехода. На рис. 35 показаны технологические переходы выдавливания заготовки клапана толкателя.

Холодное выдавливание обеспечивает точность размеров до 9—11-го квалитетов и малую шероховатость поверхности $Ra = 1,25 \div 0,08$ мкм.

Штампы и рабочий инструмент. Штампы для холодного выдавливания разделяют по схеме процесса на штампы для прямого, обратного и комбинированного выдавливания; по числу переходов — на однопереходные и многопереходные; по способу получения соосности рабочего инструмента — с направляющими колонками и втулками, плунжерные и с направлением пуансона по матрице. Для прямого выдавливания соосность обеспечивается обычно направляющими колонками и втулками. Для обратного выдавливания необходимая соосность рабочего инструмента достигается направлением пуансона по матрице, направляющим съемником или кольцом, а также применением штампов плун-

жерного типа. Применение штампов с направлением пуансона по матрице наиболее эффективно для получения невысоких деталей. На таких штампах удается получать детали с разностепенностью, не превышающей 0,05—0,10 мм.

Высокие давления, возникающие при холодном выдавливании, требуют изготовления деформирующих вставок из высокопрочных легированных сталей, термообработанных на высокую

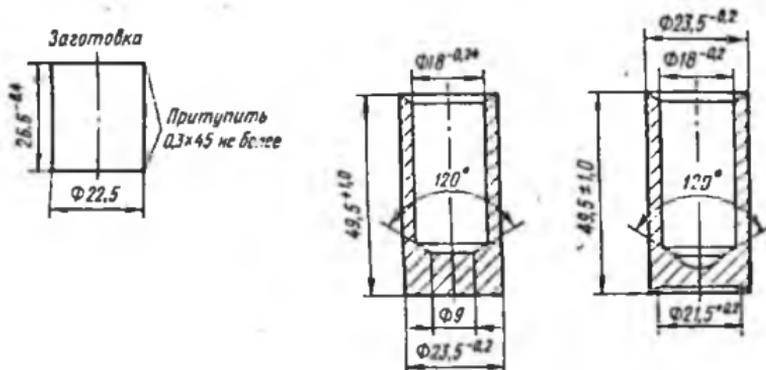


Рис. 35. Переходы технологического процесса холодной штамповки толкателя клапана

твердость. При давлении выше 1500—1800 МН/м², возникающем при выдавливании деталей из стали 15, 20, 15Г, 15Х, 30ХГСА, высокопрочных алюминиевых сплавов Д1, В95, медных сплавов Л62, Л68 и других материалов, для изготовления пуансонов применяют стали Р18, Х12Ф1, Х12М, Х6ВФ (*HRC* 60—62). Матрицы и оправки изготавливают из сталей Х12М, Х12Ф1, Х6ВФ (*HRC* 57—60). При давлении меньше 1500 МН/м² для изготовления матриц и пуансонов применяют стали ШХ15, 9ХС, Х6ВФ, 45ХЗВЗФМС.

Особое внимание уделяется способу получения штамповой стали. Электрошлаковый переплав, плазменная, электронно-лучевая плавка, вакуумно-дуговая переплавка и другие прогрессивные способы выплавки стали повышают прочностные характеристики стали и ее качество. К качеству структуры стали предъявляют особые требования: карбидная сетка в структуре стали не допускается, карбидная неоднородность рабочих деталей (пуансонов и матриц) должна быть соответственно не более 3-го и 4-го баллов. Если твердость матриц меньше оптимальной на 3—5 единиц по *HRC*, износостойкость матриц понижается более чем в 2 раза. Для повышения стойкости штампового инструмента проводят оптимальную термообработку. Так, ЦНИИЧермет рекомендует изготавливать пуансоны для холодного

выдавливания из сталей P18, X12K3M и X6BФ с закалкой на мартенсит и при низком отпуске.

Большой интерес представляют борированный посадочный и штамповый инструменты. Борирование инструмента, изготовленного из инструментальных сталей У10, ШХ15, Х12М, 9ХС, при опробовании в производственных условиях показало, что стойкость борированных штампов в 3—5 раз превосходит стойкость штампов, обработанных по обычной технологии. Перспективным является применение твердых сплавов для изготовления штампового инструмента. Твердые сплавы обладают высокой износостойкостью. Их применение обеспечивает высокую точность и чистоту поверхности деталей, изготовленных холодным выдавливанием. У твердых сплавов наблюдается некоторое повышение прочности при повышении температуры до 200—400° С, что очень важно для процессов холодного выдавливания.

Наибольшее применение находят твердые сплавы ВК6—ВК25. С увеличением содержания кобальта улучшаются механические свойства твердых сплавов. Тяжелонагруженный инструмент для холодной штамповки изготавливают из сплавов ВК12—ВК24. Твердые сплавы типа ВК в 6—10 раз дороже высоколегированных инструментальных сталей, поэтому их применение целесообразно только тогда, когда стойкость инструмента из сплава превышает стойкость стальных штампов в десятки и сотни раз.

Оборудование для холодного выдавливания стали. Холодное выдавливание осуществляют на кривошипных, кривошипно-коленных и гидравлических универсальных или специальных прессах. Применение кривошипных и кривошипно-коленных прессов позволяет осуществлять процесс выдавливания с более высокой производительностью по сравнению с гидравлическими прессами. В то же время гидравлические прессы имеют значительно больший ход и обеспечивают более спокойные условия работы инструмента. В отечественной промышленности наибольшее применение находят кривошипные прессы. Однако, если будет достигнуто увеличение производительности гидравлических прессов, предпочтение будет отдано им.

Выдавливание алюминия и его сплавов. Алюминий и его сплавы обладают хорошими свойствами для осуществления процессов выдавливания. Алюминий в процессе холодного выдавливания интенсивно нагревается (до 200—300° С). Нагрев заготовок дает возможность уменьшить требуемое для выдавливания усилие, а также увеличить срок службы инструмента. Однако температура нагрева заготовок недостаточна для снятия наклепа. Необходимо контролировать температуру нагрева и не допускать ее увеличения выше 260° С. При более высокой температуре возможно растрескивание, разрыв или даже расплавление заготовки. Для изготовления деталей, имеющих сложную форму, заготовки или инструмент предварительно нагревают.

Сравнение способов холодной обработки давлением и резанием. Если сравнить способы холодной обработки давлением со способами обработки резанием, то в обоих технологических процессах есть свои преимущества и недостатки. Преимущества холодной обработки давлением: высокая производительность; высокая точность размеров и геометрической формы изделий; улучшение механических характеристик вследствие возникновения наклепа и благоприятной волокнистой структуры (высокая усталостная прочность, твердость, предел текучести, прочность); использование более дешевых материалов (во многих случаях можно отказаться от термообработки); большая экономия металла по сравнению с обработкой резанием (50—60% при штамповке выдавливанием); меньшие расходы по оплате труда, чем при обработке резанием.

Недостатки холодной обработки давлением: количество материалов, поддающихся холодному деформированию, ограничено; возникают очень высокие давления (1200—2500 МН/м²); штампы относительно дороги; не все геометрические формы и размеры можно получить при холодной обработке давлением.

Преимущества обработки резанием: более высокая точность формы и взаимного расположения поверхностей; почти все материалы можно обрабатывать резанием; меньшая стоимость инструмента; большая вариация форм и размеров изделий; сравнительно малая потребность в электроэнергии. Недостатки обработки резанием: большой отход металла в стружку; большие расходы по оплате труда; перерезание волокон, что снижает механические характеристики детали.

Сравнение достоинств и недостатков обоих способов позволяет определить взаимодействие и границы их применения. В обоих технологических способах обработки (давлением и резанием) существуют определенные тенденции развития. За последнее время в области механической обработки металлов резанием достигнуты большие успехи, но повышение удельного веса обработки металлов резанием в машиностроении требует постоянного увеличения парка металлорежущих станков или создания моделей оборудования, обладающего высокой производительностью. Кроме того, этот способ обработки связан со значительными отходами металлов, с применением дорогостоящего инструмента и приспособлений, с использованием высококвалифицированной рабочей силы. Частичные же изменения и усовершенствования технологических процессов механической обработки металлов не дают значительного экономического эффекта.

Одним из важнейших направлений технического прогресса в машиностроении является сокращение отходов, последовательное уменьшение металлоемкости технологических процессов и приближение заготовок по размерам и чистоте поверхности к готовым деталям, вплоть до полного отказа от механической обработки. Решение этой задачи возможно на основе широкого

применения в машиностроении прогрессивных процессов обработки металлов давлением, одним из которых и является процесс холодного выдавливания.

Полугорячее выдавливание. Для расширения номенклатуры марок сталей, которые можно обрабатывать выдавливанием, а также снижения усилий деформирования в последние годы все чаще применяют процесс полугорячего выдавливания. Сущность полугорячего выдавливания заключается в том, что металл перед обработкой нагревается до температуры, лежащей в области критических точек перлитного превращения и ниже, в результате такого подогрева пластичность металла повышается.

Полугорячее выдавливание осуществляется при температурах, при которых еще не происходит интенсивного окисления и окалинообразования и поэтому сохраняется большинство преимуществ процесса холодного выдавливания. Полугорячим выдавливанием можно изготавливать детали типа стаканов и втулок с гладкими и оребренными поверхностями, типа сплошных стержней с уступами и утолщениями из обычных углеродистых, высокоуглеродистых и легированных сталей.

Процесс полугорячего выдавливания в Советском Союзе впервые был внедрен на Ковровском ордена Ленина экскаваторном заводе и Воронежском ордена Трудового Красного Знамени экскаваторном заводе имени Коминтерна. Ниже приведена маршрутная технология полугорячего выдавливания втулки цепи экскаватора: 1) резка заготовок на токарных автоматах или в штампах с дифференцированным зажимом; 2) обезжиривание заготовок в ваннах; 3) нанесение смазки на заготовки в галтовочных барабанах; 4) нагрев заготовок в индукционной нагревательной установке до $700\text{--}750^\circ\text{C}$; 5) выдавливание; 6) подрезка торцов и оформление фасок; 7) маркировка; 8) термообработка.

Вместо обезжиривания может быть применен отжиг при температуре 725°C в течение 3—7 ч, охлаждение в печи до температуры $400\text{--}450^\circ\text{C}$ и последующая очистка от окалина в галтовочном барабане. Отжиг повышает пластичность заготовок и снижает твердость. Это дает возможность снизить усилия деформирования и повысить стойкость инструмента.

В качестве смазки неплохо себя зарекомендовал состав из трех частей графита и одной части мела, разведенный в мыльной воде до консистенции жидкой сметаны. Смазку наносят перед нагревом тонким равномерным слоем на заготовки в галтовочном барабане. При нагреве часть составляющих выгорает, остается тонкий слой, предохраняющий заготовки от окисления и понижающий коэффициент трения.

Инструмент при полугорячем выдавливании работает в тяжелых условиях. Давление достигает $900\text{--}1000\text{ МН/м}^2$. В особо тяжелых условиях работает пуансон, испытывающий неравномерный нагрев и охлаждение, в результате чего в нем возникают

термические напряжения и снижается усталостная прочность. Наиболее хорошие результаты по стойкости получены при изготовлении пуансонов из стали P18 со следующим режимом термообработки: закалка от температуры 1180°C , отпуск трехкратный по 1 ч при температуре 580°C . Получаемая твердость HRC 60—62. Матрицы изготавливают из стали 3X2B8Ф, термообработанной по следующему режиму: закалка от температуры $t=1150^{\circ}\text{C}$, отпуск при $t=670^{\circ}\text{C}$ в течение 2,5 ч. Получаемая твердость HRC 48—50. Инструмент, изготовленный из данных сталей, обладает сравнительно высокой стойкостью: пуансоны выдерживают штамповку 1500—2000, матрицы 3000—4000 шт. заготовок. Для изготовления инструмента применяют также сталь 4X5B2ФС и твердые сплавы.

Полугорячее выдавливание осуществляется на универсальных кривошипных прессах, чеканочных коленно-рычажных прессах. Конструкция штампов аналогична конструкциям штампов для холодного выдавливания. Детали, полученные полугорячим выдавливанием, имеют шероховатость поверхности $Ra=2,5$ мкм и точность размеров 9—11-го квалитетов. Высокая точность и низкая шероховатость позволяют уменьшить припуски на механическую обработку, а в ряде случаев полностью исключить ее. Коэффициент использования металла повышается до 0,8—0,9. Незначительное окалинообразование при нагреве, невысокая температура нагрева дают возможность механизировать и автоматизировать процесс полугорячего выдавливания.

Горячее выдавливание является одним из прогрессивных способов производства точных заготовок. По сравнению с производством заготовок на молотах и прессах способами штамповки в открытых или полузакрытых штампах получение заготовок горячим выдавливанием обеспечивает повышенную пластичность металла и лучшее его распределение, что позволяет изготавливать заготовки сложной формы из малопластичных металлов и сплавов с высоким коэффициентом использования металла. Процесс горячего выдавливания характеризуется наиболее благоприятной схемой напряженного состояния, что позволяет обрабатывать труднодеформируемые металлы с высокой степенью приближения размеров заготовки к размерам детали с высокой точностью и производительностью.

В процессе горячего выдавливания улучшается структура исходного металла. Горячее выдавливание стали осуществляется при температуре заготовки порядка $1100—1150^{\circ}\text{C}$. При такой температуре металл заготовки становится пластичным и формообразование заготовки может быть осуществлено по всем основным схемам выдавливания.

Исходным металлом для заготовок служит горячекатаный сортовой прокат обычной точности преимущественно круглого сечения из различных конструкционных, легированных и высоколегированных сталей и специальных сплавов. Особых требо-

ваний к исходным заготовкам не предъявляется. Не допускается смятие торцов заготовок, так как этот дефект затрудняет установку нагретой заготовки в матрицу. Заготовки перед нагревом очищают от металлургической окалины в дробеструйных камерах или галтовочных барабанах. Для нагрева используют индукционные установки, электронагрев, пламенные печи и т. п.

При окислительном нагреве перед штамповкой необходимо удалить окалину, так как наличие окалины на заготовке приводит к повышенному износу инструмента и ухудшает качество поверхности отштампованной заготовки. Окалину удаляют несколькими способами. Наибольшее применение нашел способ удаления окалины осадкой заготовки перед выдавливанием или другой подготовительной операцией, например прошивкой. При осадке окалина отваливается с боковой поверхности, и, кроме того, заготовка приобретает необходимый наружный размер для фиксирования в последующем ручье. На многих заводах для очистки заготовок от окалины применяют гидроочистку — удаление окалины под действием радиальных струй воды, направленных под большим давлением.

В зависимости от сложности детали применяют однопереходную и многопереходную штамповку выдавливанием. Число переходов в освоенных в настоящее время процессах выдавливания стержневых деталей колеблется от одного до четырех. Каждому переходу соответствует свой ручей штампа. Заготовительные переходы назначаются для подготовки исходной заготовки таким образом, чтобы форма заготовки с каждым переходом приближалась к окончательной форме. Чем сложнее поковка, тем сложнее заготовительные переходы, в которых происходит перераспределение металла для облегчения деформирования в последующих переходах.

При выдавливании деталей типа стержня с утолщением первым по ходу процесса обычно делается ручей для выдавливания стержневой части заготовки. За ним следуют штамповочные переходы для окончательного оформления поковки. В окончательных ручьях избыток металла вытесняется в стержень или облой.

Операцию выдавливания стержня совмещают с окончательной штамповкой фланца в том случае, когда утолщение поковки имеет простую форму с плоским торцом и плавными переходами к стержневой части при коэффициенте вытяжки $\lambda \leq 7,5$:

$$\lambda = \frac{F}{f},$$

где F — площадь поперечного сечения приемника; f — площадь поперечного сечения очага матрицы или стержня, полученного выдавливанием, обычно λ не выше 7,5.

Для выдавливания поволоков типа стержня с фасонной головкой сложной формы применяют процесс комбинированного выдавливания. Примером может служить выдавливание поковки поворотного кулака, осуществляемое за три перехода (рис. 36).

В первом ручье заготовку (рис. 36, а) осаживают, во втором — частично выдавливают хвостовик и предварительно оформляют головку. В третьем ручье металл течет в прямом и обратном направлениях. В этом ручье окончательно оформляется хвостовик и головка поворотного кулака. На обрезном прессе обрезают заусенцы.

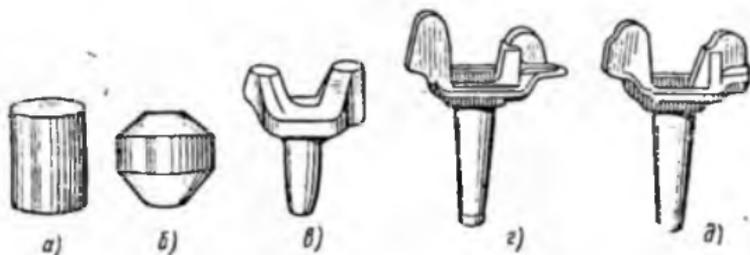


Рис. 36. Переходы при изготовлении поворотного кулачка горячим комбинированным выдавливанием:

а — исходная заготовка; б — осадка и частичное выдавливание хвостовика; в — предварительная штамповка головки; г — окончательная штамповка; д — обрезка обляя

В большинстве случаев оформление стержневой части поковки осуществляют прямым выдавливанием, имеющим некоторые преимущества перед обратным. При обратном выдавливании при передаче из ручья в ручей поковку приходится кантовать на 180° , что снижает производительность штамповки и усложняет средства механизации. Помимо этого, при применении обратного выдавливания резко падает стойкость инструмента. Очко, через которое происходит интенсивное течение горячего металла, располагается не в массивной матрице, а в пуансоне, имеющем меньше возможности теплоотвода.

Выдавливание может сопровождаться появлением торцового заусенца в зазоре между пуансоном и матрицей, что нежелательно, так как при последующих переходах заусенец может заштамповываться и вызывать появление дефектов на поковке. Заусенец ускоряет износ инструмента и вызывает его поломку, охватывая пуансон тонкой, быстро остывающей пленкой. Практика показывает, что при коэффициенте вытяжки, не превышающем 7,5, заусенец не образуется и инструмент имеет удовлетворительную стойкость. На практике, как правило, коэффициент вытяжки превышает эту величину. Для уменьшения коэффициента вытяжки операцию выдавливания осуществляют в матрице с уменьшенным диаметром. Окончательные размеры утолщенной части поковки получают в штамповочном ручье.

Оборудование и штампы. Горячее выдавливание осуществляют на кривошипных горячештамповочных прессах, гидравлических и фрикционных прессах, горизонтально-ковочных машинах. Выбор оборудования производят по расчетному максимальному

усилию. Максимальное усилие создается в окончательном ручье в момент окончания процесса деформации металла, когда поковка приобретает наибольшие размеры в плане, а излишек металла образует облой.

Расчетное усилие прессы

$$P = qF_{\Pi}\sigma_{\Pi}$$

где q — коэффициент, учитывающий геометрию заготовки; F_{Π} — площадь проекции поковки (без облоя) на плоскость разреза штампов, м^2 ; σ_{Π} — предел прочности металла при температуре окончания штамповки, МН/м^2 .

При штамповке с облоем для круглых в плане поковок

$$q = 8(1 - 0,001 D_{\Pi}) \left(1,1 + \frac{20}{D_{\Pi}}\right)^2,$$

для некруглых в плане поковок

$$q = 8(1 - 0,001 D_{\text{прив}}) \left(1,1 + \frac{20}{D_{\text{прив}}}\right)^2 \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L_{\text{прив}}}{B_{\Pi. \text{ср}}}}\right),$$

где D_{Π} — диаметр круглой в плане поковки, мм; $B_{\Pi. \text{ср}} = \frac{F_{\Pi}}{L_{\Pi}}$ — средняя ширина поковки в плане, мм; L_{Π} — максимальный габаритный размер некруглой поковки в плане, мм; $D_{\text{прив}} = 1,13 \times \sqrt{F_{\Pi}}$ — приведенный диаметр некруглой поковки в плане, мм.

По расчетному значению величины P в каталоге выбирают пресс, величина усилий которого несколько превышает расчетную величину P . Пресс должен также обеспечивать необходимую для выдавливания величину хода.

Процессы выдавливания характеризуются интенсивным скольжением горячего металла относительно рабочих поверхностей штампа. При этом усилия для стали при температуре горячего выдавливания 1150°C достигают $1200\text{--}1300 \text{ МН/м}^2$, поэтому наблюдается более быстрый износ оформляющих частей инструмента. В зависимости от сложности детали и степени деформации стойкость инструмента колеблется от $1,5\text{--}2$ до $3\text{--}5$ тыс. поковок.

Инструмент для горячего выдавливания должен быть изготовлен из жаропрочных и износостойких сталей или сплавов. Пуансоны и матрицы для горячего выдавливания рекомендуется изготавливать из хромистых и хромовольфрамовых инструментальных сталей 7ХЗ, 3Х2В8Ф, термообработанных до $HRC\ 46\text{--}48$. Рабочие поверхности вставок и пуансонов рекомендуется упрочнять путем азотирования, цианирования, борирования, применяя наплавку твердыми сплавами и т. п. Большое значение для успешного протекания процесса выдавливания имеет удачный выбор и применение технологических смазок, которые понижают усилия и повышают срок службы штампов.

В качестве смазок применяют коллоидные растворы графита и специальные графитовые пасты, содержащие кроме графита соли и минеральные масла. При выдавливании деталей из жаропрочных сталей в качестве смазок применяют коллоидные растворы стекла с добавкой спирта, а также специальные марки стеклянных смазок, служащих не только для понижения коэффициента трения, но и для теплоизоляции поверхностей штампов. Смазка предотвращает налипание деформируемого металла на стенки инструмента. Для смазки используют в основном силикатные стекла, содержащие 50—80% окиси кремния, до 12% борного ангидрида, 0,14% окислов кальция и магния, 2—32% окислов натрия и калия. Для улучшения адгезионных и смачивающих свойств в их состав вводят окислы свинца, бария и других элементов, а также соли фосфорной и плавиковой кислот.

Для горячего выдавливания штампы изготавливают в виде пакетов, в которые вставляется сменный инструмент (вставки матриц и пуансонов). Конструкция штампа должна обеспечивать надежное центрирование инструмента. Верхнюю и нижнюю половины штампа соединяют с помощью направляющих колонок и втулок. Деформация заготовки должна начинаться только после того, как пуансон вошел в матрицу.

Горячее выдавливание в поперечном направлении. Методом горячего выдавливания металла с истечением его под углом к направлению движения пуансона (см. рис. 33, ж) можно изготавливать поковки с буртами, фланцами, выступами, сплошными и полыми отростками и т. п. Для того чтобы отростки или выступы поковки не мешали ее извлечению из штампа, матрицу необходимо делать разъемной. Разъем может быть вертикальным или горизонтальным. В процессе деформирования разъемные части матрицы должны быть плотно сжаты для предотвращения вытекания металла в зазор по плоскости разъема.

На рис. 37 показаны основные схемы штамповки детали типа крестовины в разъемных матрицах. Штамповку производят из за-

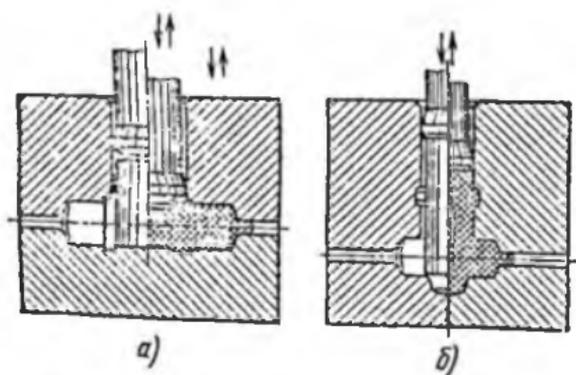


Рис. 37. Основные схемы штамповки в разъемных матрицах: а — с горизонтальным разъемом; б — с вертикальным разъемом

готовок обычной точности. Цилиндрическую заготовку под действием пуансона выдавливают в отростки, расположенные под углом 90° к плоскости, перпендикулярной направлению движения пуансона. Верхняя подвижная половина штампа имеет возможность возвратного перемещения. В процессе выдавливания она прижимается к нижней части штампа с усилием $P_{сж} = (1 \div 3)P_d$, где P_d — усилие деформирования.

Поскольку для выдавливания применяют заготовки обычной точности, в конструкции инструмента предусматривают компенсационные полости на торце каждого отростка для выхода избыточного объема металла. Площадь сечения компенсационной полости должна быть равна примерно половине площади поперечного сечения отростка. Избыточный металл, накопившийся в компенсационных полостях, удаляют на обрезных прессах или при последующей механической обработке поковок.

При вертикальном разьеме матриц металл исходной цилиндрической заготовки выдавливается в боковом направлении. Выбор характера разьема продиктован наличием двух утолщений. Выдавливание в разъемных матрицах получает все большее распространение, особенно на заводах автомобильной и тракторной промышленности. Процесс выдавливания в разъемных матрицах внедряется также на заводах строительного и дорожного машиностроения, в частности, на минском заводе «Ударник» выдавливают деталь типа стержня с боковым отростком.

Основными преимуществами процесса выдавливания в разъемных матрицах по сравнению с обычной штамповкой является резкое сокращение расхода металла за счет устранения облоя, снижения припусков и допусков. Стальные поковки могут быть изготовлены по 12—13-му квалитетам точности, поковки из цветных металлов и сплавов — по 11—12-му квалитетам. С уменьшением припусков снижается объем механической обработки. В результате можно получать экономный металл до 35—50% и существенное снижение расхода энергии. Рабочий инструмент необходимо изготовлять из сталей 3Х2В8Ф, 4Х5В2ФС. Стойкость инструмента находится в пределах 2,5—10 тыс. поковок в зависимости от давления и относительного перемещения металла.

Процесс выдавливания в разъемных матрицах осуществляют на универсальных прессах и на специальных прессах двойного действия (один ползун — деформирующий, второй — зажимной), тройного действия (два деформирующих ползуна и один зажимной) и с пятью ползунами. При штамповке на универсальном оборудовании применяют специальные штампы, конструкция которых обеспечивает надежный зажим матриц.

Горячее выдавливание режущего инструмента. Режущий инструмент в основном изготавливают методами механической обработки со снятием стружки. Вследствие этого коэффициент использования металла в инструментальном производстве находится в пределах 0,15—0,65. В стружку уходит свыше 50% до-

рогостоящих инструментальных сталей и сплавов (стоимость 1 т инструментальной стали 2000—3000 р. и более). Переплавление стружки для повторного использования металла в производстве обходится примерно в 2,5 раза дороже, чем изготовление инструмента из стандартного проката.

Заслуживает внимания применение процесса горячего выдавливания для получения заготовок режущего инструмента. Разработаны процессы изготовления выдавливанием концевых фрез, метчиков, сверл, применяют, в основном, схему прямого выдавливания. Для изготовления сверл и фрез с винтообразными ребрами во ВНИИ разработан штамп, отличительной особенностью которого является наличие матрицы с наклонными ребрами и возможность свинчивания матрицы с винтообразного профиля при извлечении выдавленной детали из штампа.

Все большее распространение получает процесс выдавливания, при котором между заготовкой и инструментом помещается какая-либо пластичная среда, способная создать разделительный слой и свести к минимуму контактное трение. В качестве промежуточных сред используют различные материалы: тальк, тальк + консталин, консталин, воск, воск + канифоль, графит, фторопласт. Лучшие результаты дает применение графита разных марок, используемого в виде предварительно спрессованных брикетов. Прокладки из графита применимы в широком диапазоне степеней деформации и температур (900—1300° С). В качестве промежуточной среды при температуре деформации 200—300° С хорошие результаты дает применение брикетов из фторопласта. Режущий инструмент, изготовленный выдавливанием с промежуточными средами, имеет шероховатость поверхности $Ra = 1,25 \div 0,63$ мкм.

Штамповка в закрытых штампах. В отличие от обычной штамповки заготовок в открытых штампах штамповка заготовок в закрытых штампах осуществляется без образования облоя, поэтому в литературе чаще называют этот процесс безоблойной или точной объемной штамповкой. Безоблойная штамповка характеризуется рядом особенностей, главными из которых являются: необходимость применения безокислительного нагрева, применение заготовок равных объемов (масс) со штамповкой, точное центрирование заготовки при установке в штамповочном ручье и параллельность торцов заготовки.

Наиболее трудно выполнимым является условие соблюдения равенства объемов заготовки и штамповки. В действительности объем заготовки приходится устанавливать всегда большим объема штамповки. Это связано с влиянием многих факторов, в том числе, с невысокой точностью исходного проката, трудностями получения точных заготовок при резке проката на заготовки, малой жесткостью применяемого оборудования и оснастки, колебаниями объема гравюры, связанными с износом и разогревом.

Проблему несоответствия объемов заготовки и штамповки решают путем создания в штампах дополнительных полостей (компенсаторов), которые заполняются излишним металлом заготовки в конце процесса деформирования. Компенсатор располагается обычно в той части гравюры штампа, которая заполняется в последнюю очередь. Наличие компенсатора позволяет осуществлять точную штамповку из заготовок с избыточным объемом металла без опасения значительного повышения усилия в конце процесса деформирования.

Безоблойная штамповка является прогрессивным методом получения заготовок, так как расход металла снижается на 20—25% из-за отсутствия облоя и клещевины, уменьшения штамповочных уклонов и припусков, более точных размеров, получаемых штамповок; повышаются механические свойства изделий вследствие наиболее благоприятного расположения волокон относительно прилагаемой в эксплуатации нагрузки и отсутствия перерезания этих волокон. Схема деформирования наиболее благоприятна для осуществления больших степеней деформации. При безоблойной штамповке усилия деформирования снижаются за счет уменьшения площади штампов в плане. Повышается производительность труда на 50—60% в связи с исключением операции обрезки облоя, уменьшением числа операций и снижением трудоемкости последующей обработки резанием. Улучшаются условия механизации и автоматизации процесса штамповки.

Безоблойная штамповка может осуществляться и в полугорячем состоянии. Применение невысокой температуры нагрева позволяет получать поковки более высокой точности и в ряде случаев исключать последующее шлифование рабочих и сопрягаемых поверхностей. Несмотря на перспективность метода безоблойной штамповки в закрытых штампах, до настоящего времени объем производства штампованных заготовок повышенной точности невелик, что объясняется необходимостью не только модернизировать и совершенствовать существующие технологические процессы, но и разрабатывать принципиально новые способы получения точных исходных заготовок.

Технологические переходы и штампы для безоблойной штамповки заготовок щек цепи Галля показаны на рис. 38. Безоблойной штамповкой получают поковки массой до 50 кг и диаметром до 400 мм. Штамповка осуществляется на кривошипных горячештамповочных прессах усилием от 6,30 до 63,00 МН, фрикционных винтовых прессах усилием от 1,00 до 6,30 МН, паровоздушных штамповочных молотах с массой падающих частей от 0,63 до 10,00 т.

Перспективным оборудованием для безоблойной штамповки являются разработанные в МВТУ им. Баумана гидровинтовые прессы и пресс-молоты. Гидровинтовые прессы имеют некоторые преимущества перед существующими прессами. В них отсут-

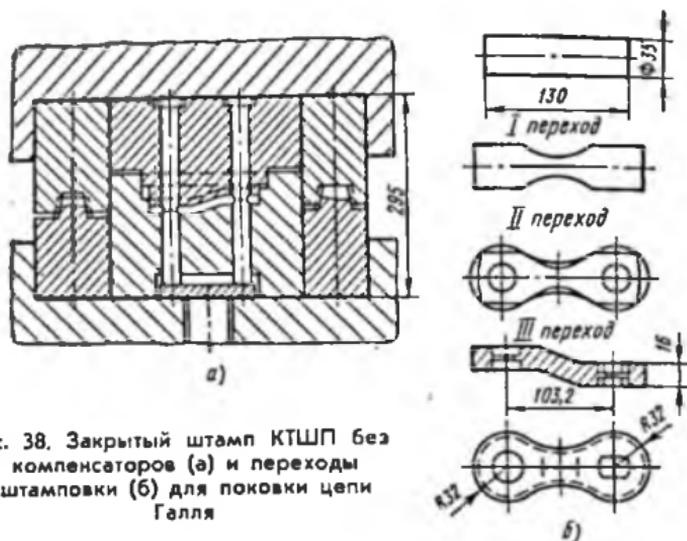


Рис. 38. Закрытый штамп КТШП без компенсаторов (а) и переходы штамповки (б) для поковки цепи Галля

стует опасность заклинивания, поломок от перегрузок. Невысокая скорость соударения рабочих частей благоприятно отражается на стойкости штампового инструмента. Главным элементом модернизации существующего оборудования является встраивание в стол или ползун пресса амортизирующих устройств, исключающих заклинивание и перегрузки при возможных отклонениях объема исходных заготовок.

Штамповка шестерен с оформлением зубьев. Штамповка заготовок шестерен с оформленными зубьями осуществляется в горячем, полугорячем и холодном состоянии. Технологический процесс изготовления шестерен с оформлением зубьев аналогичен процессам штамповки заготовок в закрытых или открытых штампах. Отличием являются повышенные требования к инструменту с точки зрения точности и стойкости рабочих гравюр. Освоен выпуск поковок с оформлением зубьев шестерен цилиндрических, конических, с торцовым зубом. Для их изготовления применяют несколько схем (рис. 39).

На рис. 39, а приведена схема штамповки конических шестерен. Технологический процесс состоит из следующих операций: резки заготовок, нагрева, штамповки в два или три перехода, обрезки заусенца, термообработки, очистки от окалины, механической обработки.

В окончательный ручей поступает предварительно оформленная заготовка. Заготовку укладывают в нижнюю зубчатую вставку 1 и под действием верхней части штампа, состоящей из пуансонодержателя 3, пуансона 4 и вставки 2, деформируется. Для штамповки конических шестерен применяют две схемы штампов — с расположением зубчатой вставки в нижней или в верхней части штампа. Расположение зубчатой вставки в верх-

ней части штампа создает благоприятные условия для предотвращения разогрева зубьев на штампе.

При штамповке цилиндрических шестерен могут быть применены схемы с радиальным течением металла (рис. 39, б). Радиальное течение металла заготовки 1 происходит за счет раздачи кольцевой заготовки конической иглой 2, вставленной в пуансон 3. Матрицу 4 целесообразно выполнять составной, состоящей из зубчатой вставки и цилиндрической части.

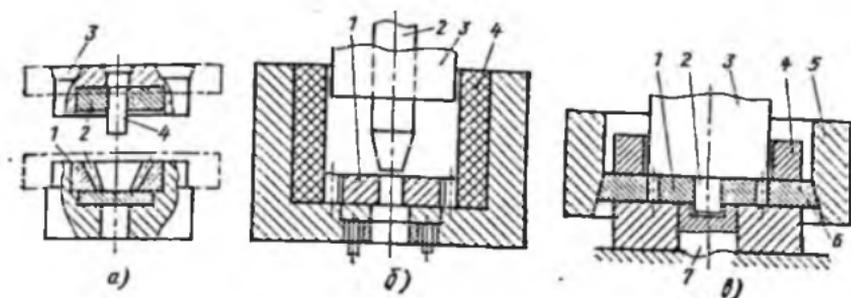


Рис. 39. Схемы изготовления шестерен с оформлением зубьев

На рис. 39, в представлена схема штампа для штамповки шестерен с оформленными зубьями, согласно которой оформление зубьев осуществляется радиально перемещаемыми секторными пуансонами. Кольцевую заготовку 1 укладывают в углубление между секторными пуансонами 6, центрируют и прижимают пуансоном 2 с выступом 3. Секторные пуансоны 6 перемещаются в радиальном направлении под действием клиновидной втулки 5, которая закреплена на плите штампа, и внедряются в тело заготовки 1. При движении ползуна пресса вверх секторные пуансоны возвращаются в исходное положение под действием пружин. Освобожденная поковка шестерни удаляется из матрицы 4 выталкивателем 7. Число секторных пуансонов равно числу зубьев шестерни.

В настоящее время освоен выпуск шестерен с оформленным зубом из углеродистых и легированных сталей в нагретом и холодном состоянии. В нагретом состоянии штампуются цилиндрические шестерни с наружным диаметром 50—120 мм и модулем $m=4\div 8$. Точность получаемых изделий соответствует 12—13-му качеству. Конические шестерни изготавливают с модулем $m=4\div 10$ и наружным диаметром 80—450 мм.

Освоена также штамповка конических колес со спиральными зубьями. Штамповку осуществляют из предварительно отштампованной заготовки, соответствующей по конфигурации требуемой поковке без оформленных зубьев. Процесс штамповки происходит путем «винчивания» верхнего вкладыша штампа при хо-

де ползуна вниз, при этом заготовка также поворачивается на определенный угол. Осуществление поворотов возможно благодаря наличию шариков, на которые опираются пуансон и вставка. При обратном ходе ползуна пресса происходит «свинчивание» вкладыша штампа.

Инструмент и оборудование. Вкладыш штампов с зубьями изготавливают только штамповкой. Зубчатые вставки изготавливают из высоколегированных сталей. Чаще всего применяют стали 3Х2В8Ф и 4Х8В2. Стойкость вставок из этих сталей составляет 1000—1100 шт. Для повышения стойкости штампов иногда увеличивают число ручьев в штампе с тем, чтобы в окончательный ручей поступала заготовка с максимальным приближением формы к готовой поковке.

В качестве оборудования для штамповки используют кривошипные горячештамповочные прессы усилием 16,00—25,00 МН и фрикционные прессы усилием до 2,50 МН. При массовом и крупносерийном производстве наиболее целесообразно применять кривошипные прессы. Кривошипные прессы имеют большую площадь стола, достаточную для расположения нескольких ручьев штампа, повышенную жесткость, высокую производительность, мощные выталкиватели.

В строительном и дорожном машиностроении целесообразно организовать централизованное изготовление шестерен с оформленным зубом и оснастить крупные кузнечные цехи кривошипными прессами. На заводах с небольшими сериями выпуска шестерен можно изготавливать конические шестерни на фрикционном прессе усилием 2,50 МН.

Мощность оборудования

$$P = 2k\sigma_n F_n,$$

где k — коэффициент, учитывающий скорость деформации и другие факторы; для фрикционных прессов принимают $k=5$; σ_n — предел прочности металла при температуре штамповки, МН/м²; F_n — площадь проекции поковки на плоскость разреза штампа, м².

Для определения усилия пресса можно воспользоваться также экспериментально установленным средним давлением, равным 600—750 МН/м².

Штамповка шестерен с оформленным зубом в холодном состоянии осуществляется чаще всего по схеме прямого выдавливания через матрицу, очко которой имеет зубчатый профиль (рис. 40). На рисунке обозначены элементы, величина которых существенно влияет на усилие выдавливания. Угол заходного конуса α_1 влияет следующим образом. С уменьшением угла α_1 уменьшается усилие выдавливания, но при величине $2\alpha_1=100\div 120^\circ$ ухудшается заполнение зуба детали. При $2\alpha_1=180^\circ$ оформление зуба улучшается, но усилие возрастает. При уменьшении угла рассекания α_2 усилия выдавливания снижаются, но при умень-

Рис. 40. Матрица для выдавливания зубчатых профилей

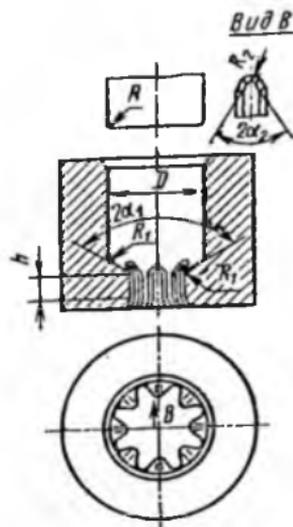
шении этого угла до величины $2\alpha_2 < 90^\circ$ гребешок заходной части заостряется, что приводит к быстрому износу гребешков и нарушению фосфатного покрытия на заготовке. При $2\alpha_2$, близких к 180° , растет усилие выдавливания и ухудшается оформление зуба детали.

С увеличением калибрующей части h величина усилия возрастает. При уменьшении h падает стойкость калибрующей частицы матрицы.

Холодным выдавливанием можно получать заготовки шестерен с оформленным зубом с модулем $m=2,5 \div 5$ и наружным диаметром 50—600 мм. Могут выдавливаться детали с зубчатым зацеплением, занимающим только часть детали. Остальная часть может быть ступенчатой, фасонной и т. п. Точность получаемых деталей соответствует 11—12-му квалитетам. Процесс выдавливания зубчатых колес можно производить последовательным проталкиванием кольцевых заготовок через очко матрицы. В этом случае остатка в матрице не образуется. Его выдавливает из полости матрицы последующая заготовка и превращает в полезную часть зубчатого профиля.

Недостатком процесса последовательного проталкивания заготовок является образование выпуклой или волнистой торцевой поверхности шестерен. Этот дефект удается устранить созданием противодействия в процессе выдавливания заготовок или последующей калибровкой зубчатого колеса.

Изготовление шестерен с оформленным зубом является одним из прогрессивных технологических процессов обработки давлением и в сравнении с производством шестерен механической обработкой резанием обладает рядом бесспорных достоинств. Одним из важных достоинств производства шестерен с оформленным зубом штамповкой является повышение эксплуатационных качеств шестерен. По данным центральной заводской лаборатории автомобильного завода им. И. А. Лихачева, износостойкость зубчатых колес со штампованным зубом превосходит износостойкость колес с фрезерованным зубом на 20—30%, усталостная прочность штампованных колес выше фрезерованных на 25—30%. Повышение эксплуатационных характеристик происходит вследствие благоприятного расположения волокон при штамповке, которые не перерезаются при последующей обработке. Слой металла с мелкозернистой структурой,



образовавшийся при пластической деформации, не снимается и не перегоняется в стружку, как это имеет место при фрезеровании.

В результате сокращения механической обработки при изготовлении штамповкой шестерен с зубьями снижается расход металла до 50%, уменьшается себестоимость и трудоемкость до 40%, увеличивается производительность до 50%. Для формования шестерен с зубьями применяют также процессы прокатки цилиндрических зубьев колес и высокоскоростную штамповку.

Высокоскоростная объемная штамповка. Установлено, что с увеличением скорости перемещения деформирующего инструмента увеличивается пластичность деформируемого металла. В связи с увеличением пластичности металла существенно изменяется и характер течения в полости штампа.

Вследствие кратковременности контакта деформирующего инструмента с заготовкой тепловые потери нагретой заготовки невелики. Теплота, выделяющаяся в результате пластической деформации, не успевает рассеяться и повышает температуру заготовки. Подобный температурный баланс в заготовке способствует увеличению пластичности заготовки и позволяет изготавливать поковки из углеродистых, высоколегированных и труднодеформируемых сталей при более низких, чем при обычной штамповке, температурах. С увеличением скорости деформирования снижается коэффициент контактного трения, увеличивается влияние инерционных сил. Работа сил инерции прямо пропорциональна квадрату скорости перемещения тела. Для высокоскоростной штамповки применяют скорости 12—100 м/с и более. Скорость перемещения инструмента молотов составляет 4—6 м/с, кривошипных прессов около 1 м/с, т. е. при высокоскоростной штамповке скорость перемещения деформирующего инструмента увеличивается примерно в 20—100 раз по сравнению с обычной штамповкой на молотах и прессах, а работа сил инерции увеличивается соответственно в 400—10 000 раз.

Наличие значительных сил инерции и высокой пластичности металла позволяют высокоскоростной штамповкой получать высококачественные точные детали с тонкими стенками и ребрами, расположенными под разными углами к направлению движения деформирующего инструмента, поковки зубчатых колес с оформленным зубом и другие сложные детали. Толщина ребер, стенок, полотен, полученных высокоскоростной штамповкой, может составлять 2 мм. Минимальная толщина подобных элементов при штамповке на кривошипных прессах составляет 4 мм.

Высокоскоростной штамповкой получают детали с поперечными размерами 50—150 мм. Максимальный диаметр поковок, штампуемых на высокоскоростном оборудовании, составляет 460 мм, максимальная высота 300 мм. При изготовлении поковки на высокоскоростном оборудовании получается значительная

экономия металла за счет снижения величины уклонов и припусков на механическую обработку. Штамповочные уклоны назначаются только для внутренних полостей и не превышают 1° , в то время как при штамповке на обычных молотах и прессах уклоны назначаются по внутренним и наружным поверхностям, а их величина составляет $3-7^\circ$. Радиусы закруглений могут отсутствовать в направлении приложения нагрузки и не превышать 2 мм в плоскости удара.

Точность получения поперечных размеров поковок соответствует 12—13-му квалитетам, а шероховатость поверхности составляет $Ra=5,0 \div 2,5$ мкм. Минимально допускаемые припуски на механическую обработку составляют 0,5—1,5 мм. Температурный интервал штамповки на высокоскоростном оборудовании с учетом теплового эффекта составляет: для конструкционных, нержавеющих и жаропрочных сталей — $1000-1200^\circ\text{C}$, для алюминиевых сплавов — $250-350^\circ\text{C}$, для титановых сплавов — $900-1000^\circ\text{C}$.

Деформирование заготовки, как правило, осуществляется за один удар. При применении заготовки, которая имеет форму, неблагоприятную для высокоскоростной штамповки, необходимо вводить предварительное формообразование заготовок на другом оборудовании.

Штампы и оборудование для высокоскоростной штамповки. Штамповка поковок происходит при высоких скоростях и сопровождается жесткими ударами, поэтому штампы для высокоскоростной штамповки должны быть простыми, с надежным креплением частей штампа. Так как стойкость вставок штампов для высокоскоростной штамповки ниже, чем для обычной штамповки, конструкция штампа должна обеспечивать возможность быстрой смены рабочих частей штампов.

Тяжелонагруженные детали штампов не должны иметь острых углов и малых радиусов закругления. Шероховатость поверхности пуансонов и матриц должна составлять $Ra=0,63 \div 0,32$ мкм. Материал для изготовления пуансонов и матриц должен обладать высокой ударной вязкостью, термостойкостью, износостойкостью, иметь высокий предел усталости и низкий коэффициент линейного расширения.

Для изготовления вставок рекомендуется применять стали 4Х3ВМФ и 4Х5В2ФС, закаленные от температуры 1050°C и отпущенные при температуре $590-600^\circ\text{C}$. Твердость сталей после такой термообработки составляет HRC 48—50. Перед началом работы штампы нагревают до $150-200^\circ\text{C}$. Стойкость штампов из указанных марок сталей превышает 1000 шт. При такой стойкости процесс высокоскоростной штамповки является рациональным.

Особенностью машин, применяемых для высокоскоростной штамповки, является то, что рабочие органы этих машин приводятся в движение под действием мгновенного расширения сжа-

тых газов. При расширении газов скорость движения рабочих органов достигает десятков и сотен метров в секунду. В качестве рабочего газа применяют сухой азот из обычных баллонов. Азот дешев и обеспечивает безопасность работы системы. Для высокоскоростной штамповки применяют молоты различных моделей с энергией удара от 1100 до 760 000 Дж.

Применение процесса высокоскоростной штамповки позволяет резко уменьшить расход металла (до 15—65%), снизить трудоемкость и себестоимость производимой продукции (трудоемкость снижается в 7—20 раз по сравнению с обработкой резанием и на 70—100% по сравнению с обычной штамповкой). Детали, изготовленные высокоскоростной штамповкой, имеют 9—11-й качества точности и шероховатость поверхности $Ra = 0,63 \pm 0,32$ мкм. Не высокая производительность при высокоскоростном деформировании компенсируется уменьшением объема механической обработки. Первоначально высокоскоростная штамповка применялась при производстве поковок сложной конфигурации с тонкими ребрами. В последнее время высокоскоростную штамповку стали применять для изготовления обычных поковок, ранее получаемых на кривошипных прессах или обычных молотах. На заводах строительного и дорожного машиностроения высокоскоростные молоты применяют для изготовления заготовок типа шестерен. Целесообразность применения высокоскоростной штамповки необходимо решать в каждом конкретном случае, исходя из технико-экономических соображений и технологических возможностей оборудования.

Высокоскоростные молоты оснащены мощными выталкивателями и устройствами для возвращения бабы в исходное положение. Это позволяет осуществлять точную штамповку с минимальными припусками и без облоя из заготовок обычной точности. Высокоскоростные молоты по сравнению с кривошипным прессом имеют меньшие габаритные размеры и стоимость, отличаются малой сейсмичностью удара, большей точностью направления бабы и малыми затратами на строительство фундамента. В то же время на высокоскоростных молотах нельзя осуществлять многопереходную штамповку, так как существующие конструкции молотов не обеспечивают возможности нанесения нескольких ударов различной мощности. Для выполнения подготовительных операций требуется установка дополнительного оборудования, что значительно уменьшает экономическую эффективность применения процесса высокоскоростной штамповки или сводит ее на нет.

Формообразование зубьев шестерен прокаткой. Процесс формообразования зубьев шестерен прокаткой заключается в пластическом деформировании нагретой цилиндрической заготовки вращающимися зубчатыми валками. Процесс формообразования зубьев цилиндрических колес осуществляется двумя способами: с осевой подачей заготовки и с радиальной подачей валков.

При формообразовании зубьев с осевой подачей заготовки (рис. 41) стопка дисковых заготовок 1 нагревается в индукторе 4 ТВЧ до температуры 1200° С, подается в зону зубчатых валков 2, устанавленных на определенное межосевое расстояние, и прокатывается между ними. Между валками расположена делительная шестерня 3 с модулем и числом зубьев, одинаковыми с прокатываемой шестерней. Делительная шестерня вращается со-

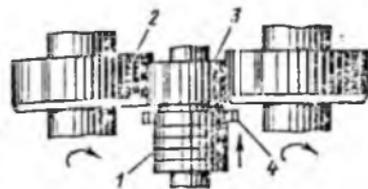


Рис. 41. Накатка зубьев шестерен с осевой подачей заготовок

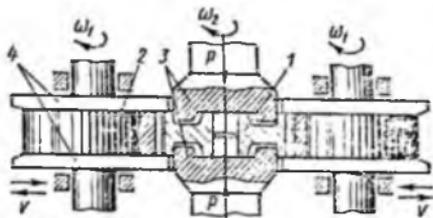


Рис. 42. Формообразование зубьев шестерен прокаткой с радиальной подачей валков

вместно с заготовками и перемещается в осевом направлении, постепенно выходя из зацепления с зубчатыми валками, а поворот заготовок на определенную величину обеспечивается зубьями, сформированными на заготовках. Для осуществления плавного деформирования валки имеют заходную конусную часть. Формообразование осуществляется при скорости осевого перемещения заготовки 6—8 мм/с, окружная скорость — 0,2—0,3 м/с.

В нагретом состоянии можно изготавливать цилиндрические и конические зубчатые колеса с модулем 2,5—5 мм и диаметром до 200 мм, осуществлять накатку шлицев на длине до 100 мм на заготовках диаметром до 60 мм. Способ отличается высокой производительностью, стабильностью получения размеров зацепления, простотой кинематической цепи и несложностью изготовления инструмента. Точность зубчатых колес соответствует 8-му качеству. Более высокая точность может быть получена при последующей холодной калибровке на прокатном стане.

К недостаткам способа относятся возникновение больших усилий в инструменте и незаполнение торцов зубьев при формообразовании шестерен большого модуля ($m > 5$). Способ не пригоден при накатке шевронных шестерен, многовенцовых шестерен, шестерен со ступенчатыми валками.

При формообразовании зубьев по схеме с радиальной подачей зубчатых валков (рис. 42) эти недостатки отсутствуют. Формообразование по этой схеме производится поштучно. Деформируемая заготовка 1 зажимается двумя шпинделями 3 и устанавливается между двумя зубчатыми валками 2. Валки снабжены

ребордами 4, предотвращающими вытекание металла в торцовом направлении во время деформации. Заготовку перед деформированием нагревают в секторном индукторе токами высокой частоты непосредственно на стане между рабочими валками. Нагревают до температуры 1150—1200° С на глубину двух-трех модулей. После нагрева зубчатые валки сближаются и, вращаясь, деформируют заготовку. После оформления зубьев валки разводятся и шестерня удаляется. По данной схеме освоено горячее формообразование зубьев шестерен с прямым, косым и шевронным зубом с модулем до 12 мм, звездочек цепных передач с шагом до 25,4 мм.

Штучную прокатку целесообразно производить для зубчатых колес диаметром более 120 мм и модулем выше 3 мм. Процесс менее производительен, но при формообразовании колес с модулем выше 5 мм характеризуется значительной экономией металла.

Технологический процесс штучной прокатки зубчатого колеса складывается из операций резки заготовок, штамповки на молоте или прессе предварительной заготовки, полной токарной обработки, нагрева и прокатки на стане. В процессе прокатки разогревается не только венец, но и ступица колеса. Для предохранения от нагрева до высокой температуры диск зубчатого колеса с двух сторон охлаждается водой. Вследствие температурных колебаний отверстие зубчатого колеса искажается. Для исправления дефектов применяют последующую механическую обработку.

Для формообразования зубьев конических шестерен НИИТАвтопром разработана схема, показанная на рис. 43. Отштампованная и механическая обработанная заготовка 1 в нагретом состоянии подвергается деформации зубонакатным колесом-инструментом 2. Для синхронизации вращения заготовки и инструмента предусмотрены прямозубые конические колесасинхронизаторы 4. Вытеканию металла в торцы оформляемого зуба препятствуют кольцевые реборды 3. По данной схеме, применяя соответствующий инструмент, можно накатывать конические шестерни, имеющие углы начальных конусов 60—84°, диаметры 175—350 мм, модули 4—10 мм. Для изготовления накатников используют высокоуглеродистые средне- и высоколегированные стали различных марок. Наибольшую стойкость показали накатники, изготовленные из стали 20ХНЗА. Применяют также стали 5ХНТ, 5ХНМ, 5ХВС, ХВГ и Х12. Стой-

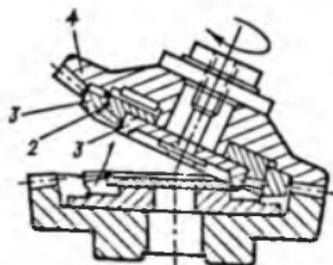


Рис. 43. Прокатка зубьев конических шестерен

стойкость накатников из стали 5ХНТ достигает 5000—7000 колес. Применение наплавки увеличивает стойкость в 5—10 раз.

Основные преимущества формообразования зубьев шестерен прокаткой заключаются в значительной экономии металла, снижении трудоемкости, себестоимости изготовления, повышении производительности труда и эксплуатационных качеств шестерен. По данным институтов ВНИИМЕТмаша, Оргстанкопрома, ИИИТАвтопрома, ЭНИКмаша, экономия металла составляет около 15%, производительность по сравнению с нарезанием возрастает на 10—35%, трудоемкость уменьшается на 30%, уменьшается производственная площадь, применяют более дешевое оборудование.

При накатке существенно повышаются эксплуатационные свойства шестерен. Стойкость накатанных колес из легированной стали выше на 20% по сравнению с нарезанными, а стойкость накатанных колес из углеродистой стали выше на 27% по сравнению с фрезерованными из легированной стали. Повышение износостойкости колес при накатке происходит вследствие благоприятного расположения волокон к направлению действующих нагрузок, уплотнения структуры в результате действия трехосного неравномерного сжатия при деформации и поверхностного упрочнения.

Прокатка заготовок на специальных станах. На некоторых заводах строительного и дорожного машиностроения для массового производства применяют специальные станы. В частности, на заводах, производящих теплообменную аппаратуру, применяют станы для прокатки ребристых труб. Наибольшее распространение получили способы раздельного изготовления ребер и труб и последующего их соединения пайкой, сваркой, уплотнения при раздаче трубы и т. п. Трубы, полученные раздельным изготовлением, обладают существенными недостатками, главными из которых являются ненадежность контакта, высокая трудоемкость изготовления и высокое термическое сопротивление на стыке ребер с трубой. Наиболее перспективными являются цельнокатаные ребристые трубы. Они менее трудоемки в изготовлении и обеспечивают хорошую теплопередачу.

На рис. 44 представлена схема прокатки ребристых труб. Исходную заготовку 1 в виде гладкой трубы насаживают на цилиндрическую оправку 2 и она поступает в зону деформации, состоящую из трех приводных валков 3, оси которых наклонены к оси прокатки на определенный угол, называемый углом подачи. На поверхности валков крепят калибры. Калибры могут быть кольцевыми и винтовыми. Валки с кольцевыми калибрами изготовляются обычно сборными, состоящими из отдельных дисков переменного профиля. Собранные калибры образуют на валке конический заборный и цилиндрический калибрующий участки.

Основными исходными геометрическими параметрами для

проектирования валка являются диаметр прокатываемой трубы, геометрия профиля и число заходов.

Наибольший диаметр валка

$$D = 6,43d - 7,41S,$$

где d — наименьший наружный диаметр прокатываемой трубы, мм; S — радиальный зазор между валками (1—2 мм).

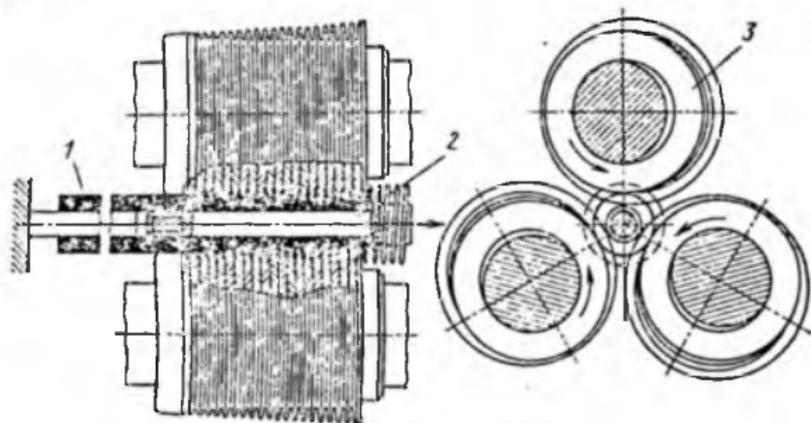


Рис. 44. Прокатка ребристых труб

Кольца заборного конуса имеют одинаковый профиль гребня и увеличивающийся от кольца к кольцу диаметр. Увеличение диаметра последующего кольца

$$\Delta D < 2t \operatorname{tg} \varphi,$$

где t — толщина кольца (равная шагу ребра), мм; φ — угол заходного конуса.

В кольцевых калибрах прокатывают трубы с винтовыми однозаходными или многозаходными ребрами. Угол подачи принимают примерно равным углу подъема винтовой линии ребер. Недостатком процесса прокатки в кольцевых калибрах является невозможность прокатки ребристых труб с большим углом подъема винтовой линии ребер. Прокатку таких труб осуществляют в винтовых калибрах. При применении винтовых калибров можно заранее обеспечить требуемую величину угла подачи, изменяя угол подъема винтовой линии на валке. В винтовых калибрах можно прокатывать трубы с большим шагом.

Различают прокатку низкорребристых труб (коэффициент оребрения — отношение размера наружной поверхности к размеру внутренней — равен 2,5—4) и высокорребристых (коэффициент оребрения достигает значения 16).

Низкоробристые трубы изготавливают с гладкими неоребрёнными концами. Процесс прокатки происходит следующим образом. В начальный момент прокатки валки находятся в разведенном состоянии, а передний конец заготовки выставляется на определенную величину между валками. Затем вращающиеся валки сходятся, захватывают заготовку, сообщают ей вращательное и осевое перемещение, в процессе которого и происходит оформление ребер и снятие с оправки. В конце прокатки валки расходятся раньше выхода трубы из валков и задний конец остается неоребрённым. Высокоребристые трубы прокатывают на проход и ребра оформляются по всей длине.

На заводах строительного и дорожного машиностроения, в частности, на домодедовском машиностроительном заводе «Кондиционер», Костромском калориферном заводе применяют прокатку биметаллических ребристых труб. Трубы прокатывают из двухслойных трубчатых заготовок: внутренняя — тонкостенная стальная труба, наружная — толстостенная алюминиевая труба. Трубы собирают с небольшим зазором и прокатывают. Плотное сцепление получается в результате их обжатия при совместной прокатке. Скорость прокатки, определяющая производительность процесса и влияющая на качество труб, принимается равной для медных труб 20—30 м/мин, для алюминиевых и сталеалюминиевых 30—50 м/мин.

В качестве смазки при прокатке ребристых труб из цветных металлов чаще всего применяют эмульсию на основе синтетической смазки ЛЗ-142. Рабочий инструмент (кольца) изготавливают из высокопрочных инструментальных сталей с пределом прочности после термообработки $\sigma_{\text{в}} \geq 2000 \text{ МН/м}^2$, твердостью *HRC* 52—56. При прокатке труб из цветных металлов применяют листовую сталь 65Г, У8А и др. Кольца, изготовленные из листовой стали, имеют более высокую стойкость, чем кольца, изготовленные из круглого проката.

Прокатку ребристых труб осуществляют на станах, разработанных ВНИИМетмашем. Стан ХПРТ 20—40Н предназначен для холодной прокатки низкоробристых труб из черных и цветных металлов диаметром 20—40 мм, длиной до 6 м. Стан ХПРТ 8-12 планетарного типа предназначен для прокатки высокоробристых труб из цветных металлов внутренним диаметром 6—8 мм. Для производства небольших партий ребристых труб применяют специальные накатные устройства, устанавливаемые на токарных станках.

На Дрогобычском заводе автомобильных кранов работает стан для прокатки червяков в горячем состоянии. Схема прокатки аналогична схеме прокатки ребристых труб. Профиль на гладкой поверхности заготовки образуется в результате непрерывного последовательного накатывания витков при перемещении заготовки между валками с винтовыми или кольцевыми калибрами. Процесс характеризуется небольшими усилиями и

возможностью накатывать винтовой профиль неограниченной длины. Процесс высокопроизводителен, так как прокатка в горячем состоянии позволяет развивать скорость до 20—50 м/мин и допускаемые радиальные обжатия в пределах 0,15—0,5 мм. В качестве источника нагрева применяют кольцевой индуктор ТВЧ, установленный перед рабочими валками. Режим нагрева обеспечивает стабильность размеров прокатываемой резьбы по всей длине винта. Прокатка ведется при температуре 1050—1000° С.

Для снижения сил трения и защиты инструмента от износа применяют воднографитовую смесь с добавкой кальцинированной соды. Винты, полученные прокаткой, отличаются от механически обработанных более высокими механическими характеристиками. Точность горячекатаной резьбы соответствует 7-му качеству, а шероховатость поверхности $Ra=2,5$ мкм. Производительность стана ЗХПВ-30 при прокатке винтов автокранов с трапецидальной резьбой 36×6 и 65×8 составляет в среднем 100—150 погонных метров в смену.

Изготовление кольцевых заготовок раскаткой. Схема раскатки кольцевых заготовок представлена на рис. 45. Заготовка кольцевой формы 1, нагретая до ковочных температур, надевается на валок 3. Вал 4 подводится к заготовке и, вращаясь, деформирует металл заготовки, находящийся в зазоре между валками 4 и 3. Существует открытая и закрытая раскатка. При закрытой раскатке вал 4 имеет гравюру, соответствующую наружной поверхности требуемой заготовки, и реборды, препятствующие уширению металла. Вследствие ограничения уширения деформируемый металл вынужден течь вдоль кольца, увеличивая длину окружности.

В процессе раскатки между валками меняется форма, сечение и диаметр исходной заготовки. При увеличении длины окружности наружный диаметр достигает направляющего ролика 5, обеспечивающего правильную форму раскатываемой окружности. По мере увеличения диаметра кольца центр его непрерывно перемещается. При достижении необходимого размера кольцо вступает в контакт с сигнальным роликом 2. В этот момент обжимной вал 4 отходит в исходное положение, кольцо свободно снимается с валка 3.

Свободная открытая раскатка отличается тем, что обработка кольца осуществляется между гладкими валками. Исходной заготовкой для раскатки служат заготовки, полученные штамповкой, ковкой или отливкой. Исходная заготовка имеет диаметр в несколько раз меньше диаметра готовой детали. Это обстоятельство важно

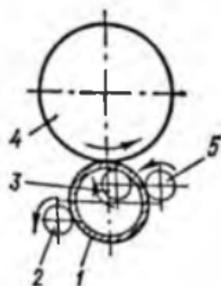


Рис. 45. Раскатка кольцевых заготовок

при изготовлении тонкостенных и крупногабаритных деталей. Штамповка таких деталей потребовала бы больших усилий и сопровождалась бы большим отходом металла. Заготовки, полученные раскаткой, имеют хорошее приближение размеров и формы к готовым изделиям, что приводит к экономии металла, уменьшению объема механической обработки.

Размеры заготовок под раскатку определяют по приведенной ниже методике. Наружный D_3 и внутренний d_3 , диаметры заготовки определяют в зависимости от суммарного коэффициента обжатия K или отношения толщины стенок до и после раскатки:

$$K = \frac{D_3 - d_3}{D_n - d_n},$$

где D_n и d_n — наружный и внутренний диаметры раскатанной заготовки.

Коэффициент K выбирают в зависимости от конфигурации поковок, $K = 1,2 \div 1,5$. Внутренний диаметр исходной заготовки d_3 должен быть не менее 40 мм, $d_3 = \frac{d_n}{K}$. Наружный диаметр заготовки определяют из условия равенства объемов заготовки и раскатанной детали с учетом потерь металла на угар:

$$D_3 = \gamma \sqrt{D_n^2 - d_n^2 + d_3^2},$$

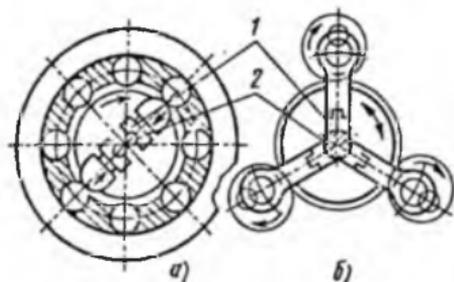
где γ — коэффициент, учитывающий угар металла при нагреве заготовок перед раскаткой; $\gamma = 1,015$ при нагреве в пламенных печах; $\gamma = 1,007$ при электронагреве.

Высота заготовки равна высоте раскатанной детали. Раскатку осуществляют при температурах ковки. Достижимая точность размеров при раскатке соответствует 11-му качеству. Для изготовления рабочих частей валков применяют стали 5ХНВ или 50ХГС.

Раскатку осуществляют на раскаточных машинах различных моделей. Наибольшее применение в подшипниковой промышленности получила полуавтоматическая раскаточная машина мод. МГР. Машины имеют окружную скорость вала 2,85—3,00 м/с. Производительность раскатки зависит от диаметра раскатываемых колец и лежит в пределах от 150 до 600 шт./ч.

Производство заготовок ротационным обжатием. Ротационное обжатие в основном производят на машинах двух типов, отличающихся кинематикой движения рабочих органов машины. Применяют машины, в которых инструмент (бойки) вращается вокруг заготовки (рис. 46, а), и машины, в которых инструмент не вращается относительно заготовки (рис. 46, б). Первые применяют для обработки осесимметричных заготовок с вытянутой осью. Формоизменение заготовки (обжатие) осуществляется путем частых последовательно чередующихся ударов бойков по по-

Рис. 46. Кинематическая схема рабочих органов ротационных машин



верхности заготовки в результате которых деталь обжимается со всех сторон, уменьшается ее поперечное сечение и увеличивается длина. После каждого обжатия заготовка подается вдоль оси на величину

1,5—3% от длины заходного конуса. Чем меньше величина подачи, тем выше чистота поверхности. Заготовка во время деформации находится в горизонтальном положении. Машины с вращающимися бойками выпускают двух- и четырехбойковые. На двухбойковых машинах изготавливают детали диаметром 4,2—75 мм. Длина обжимающей части штампа 180—375 мм. На четырехбойковых машинах изготавливают детали диаметром 12—50 мм. Длина обжимающей части 70—200 мм. Выпускают специальные машины для обжима трубных заготовок диаметром 20—150 мм.

Ротационным обжатием изготавливают ступенчатые валы, формируют шлицы внутри полых изделий, заковывают концы баллонов и труб под последующее волочение, выполняют сборку наконечников с тросом, соединение двух тросов муфтой, трубчатые соединения, плакирование цилиндрических деталей и другие операции. Операции сборки обжатием качественнее и экономичнее других видов сборки.

К машинам, в которых инструмент не вращается вокруг заготовки, относятся вертикальные трехбойковые ковочные машины, применяемые для полуавтоматическойковки ступенчатых валов. Между тремя бойками 1 помещается заготовка 2, зажатая за один конец во вращаемом шпинделе. Бойки расположены на одинаковом расстоянии и получают попеременное движение от эксцентриковых валов. Заготовка 2, вращаясь и перемещаясь в осевом направлении, деформируется под действием частых ударов бойков. Перемещение заготовки по вертикали вверх и вниз зависит от конфигурации требуемого изделия и осуществляется гидравлическим цилиндром, расположенным в верхней части корпуса машины. Скорость перемещения заготовки вверх и вниз составляет 0,025—0,150 м/с. Шпиндель вращается с постоянной частотой 0,77 об/с. Каждый боек при ковке развивает усилие до 1 МН. За один цикл работы можно деформировать заготовку с шестью перепадами диаметров и за одно обжатие уменьшать диаметр на 12—15 мм в зависимости от размера заготовки и требуемой чистоты.

На радиально-обжимных машинах можно обрабатывать сплошные профили диаметром от 10 до 300 мм, полые — до

450 мм. Обработке подвергаются заготовки из конструкционных и инструментальных сталей, цветных металлов и сплавов, жаропрочных сплавов. Бойки для холодного деформирования изготавливают из стали 5ХВ2С, Х12Ф1, ХВГ, У1, У8, твердых сплавов ВК8, ВК15. Стали калят на твердость HRC 60—64. Средняя стойкость стальных бойков при обработке стали ШХ9 в холодном состоянии составляет 4500 шт. Средняя стойкость бойков, изготовленных из твердых сплавов, составляет 30—40 тыс. шт.

Для горячей обработки бойки изготавливают из стали 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ, 5ХГС, 3Х2В8Ф, ШХ15. Твердость принимается в пределах HRC 48—60. Иногда применяют наплавку рабочей поверхности бойков твердыми сплавами. Средняя стойкость при обжатии труб из стали 45 составила 2500 шт.

При изготовлении заготовок на радиально- и ротационно-обжимных машинах получают значительную экономию металла. При деформировании в холодном состоянии экономия металла составляет около 30% по сравнению с обработкой резанием. При горячем деформировании ступенчатых валов обеспечивается экономия металла от 20 до 60%. Себестоимость изготовления ступенчатых валков снижается на 20—30%.

Заготовки, полученные на радиально- и ротационно-обжимных машинах, имеют хорошую чистоту и высокие механические характеристики поверхностных слоев. Повышение срока службы деталей по сравнению с деталями, полученными механообработкой, составляет 150—180%. Точность обработки при холодном формообразовании соответствует 7—9-му квалитетам, при горячем — 11—13-му. Шероховатость поверхности после холодного деформирования $Ra=0,63\pm 0,160$ мкм. Благодаря высокому качеству поверхности, получаемой после горячего выдавливания, $Ra=5,0\pm 2,5$ мкм, при холодном деформировании во многих случаях отпадает необходимость в механической обработке (точении и даже шлифовании). Точность и чистота поверхности в основном зависят от скорости деформации и степени обжатия заготовки.

Получение заготовок электровысадкой. Процесс электровысадки заключается в получении утолщений на стержневых заготовках путем деформирования части заготовки, нагретой электрическим током промышленной частоты, напряжением 2—8 В.

На рис. 47 представлена схема процесса электровысадки. Пруток 1 зажимается контактами 2, действующими от гидроцилиндра, и штоком 3 прижимается к торцовому контакту 4. Цепь оказывается замкнутой.

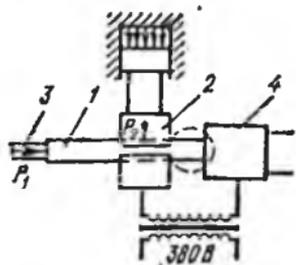


Рис. 47. Схема процесса электровысадки

При прохождении тока часть заготовки, зажата между контактами 2 и 4, разогревается до температуры, необходимой для высадки, и высаживается под действием силы P_1 . На контакты 2 действует незначительная сила P_2 , позволяющая металлу прутка 1 постепенно проскальзывать в зону нагрева и деформироваться без разрыва электрической цепи. Вследствие более сильного нагрева прутка у контакта 4 металл, вытесняемый поступающими более холодными частями прутка, течет в этой зоне более интенсивно в радиальном направлении. В процессе высадки упорный контакт 4 перемещается с определенной скоростью и расстояние между контактами 2 и 4 увеличивается.

Для получения качественных заготовок необходимо, чтобы расстояние между контактами было больше длины поковки, но не превышало трех диаметров высаживаемой части заготовки во избежание потери устойчивости высаживаемой части прутка. Эта важная особенность электровысадки — сохранять определенное расстояние между контактами, не превышающее критической длины стержня, — позволяет производить большой набор металла в утолщении заготовки за один проход. Имеются примеры набора до 60 диаметров прутка. Набор металла может осуществляться в открытом или закрытом ручье. В последнем случае можно получать заготовки с утолщениями заданной формы. Электровысадкой можно получать детали типа сплошного стержня с одним или несколькими утолщениями, с исходным диаметром прутка от 6 до 100 мм, длиной до 8 м и трубчатые заготовки с утолщениями на концах. Для выбора электровысадочной машины ориентировочно рассчитывают усилие

$$P_1 = \sigma F,$$

где σ — сопротивление деформации при ковочной температуре (рекомендуется принимать $\sigma \approx 100 \text{ МН/м}^2$); F — максимальное поперечное сечение высаживаемой заготовки.

Силу зажима радиальными контактами 2 рекомендуется принимать равной $0,25 P_1$. Скорость движения штока составляет 2—4 мм/с. Оснастка для электровысадки отличается простотой. Упорный контакт для свободной электровысадки изготавливают из стали в форме плиты и крепят на салазках.

При формообразовании утолщения в закрытой матрице применяют стальной бандаж, в который запрессовывают втулку из жаростойкого материала (керамики 22ХС). Радиальный контакт выполняется разъемным, одна часть контакта неподвижна во время работы машины. Радиальный контакт изготавливают из материалов с хорошей электропроводностью (бронза, латунь, медь). Для повышения износостойкости контактов в последнее время стали применять металлокерамику.

Электровысадочные машины выпускают в двух исполнениях:

горизонтальном и вертикальном. В свою очередь, их подразделяют на однопозиционные и многопозиционные. Однопозиционные машины применяют для набора металла в определенной части прутка с последующей деформацией на штамповочном оборудовании. Процесс электровысадки широкого распространения пока не получил, хотя обладает некоторыми преимуществами. Применение процесса позволяет экономить металл до 40% по

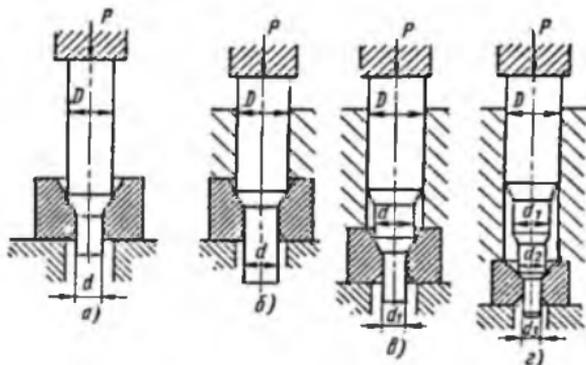


Рис. 48. Схема редуцирования:
а — однопереходный процесс; б—г — многопереходный процесс

сравнению с механической обработкой, уменьшить себестоимость деталей, повысить производительность труда на 55%. Заготовки, получаемые электровысадкой по точности, соответствуют 11—13-му качествам стандарта СЭВ 145—75.

Электровысадочные машины работают в настоящее время на многих заводах страны. Разработкой технологического процесса и конструкций электровысадочных машин занимаются институты: НИИТракторсельхозмаш, ЭНИКмаш и др.

Изготовление заготовок редуцированием. Процесс редуцирования заключается в уменьшении поперечного сечения исходной цилиндрической заготовки при одновременном увеличении длины деформируемого участка. Различают одностороннее и двухстороннее, однопереходное без контейнера и многопереходное редуцирование с контейнером. На рис. 48 изображены схемы одностороннего, однопереходного и трехпереходного редуцирования.

Исходная заготовка, калиброванная и фосфатированная, продавливается через очко матрицы определенного профиля (круглого или фасонного). Максимальная степень деформации за один переход зависит от марки стали и наличия контейнера. При редуцировании без контейнера допустимая степень дефор-

машины за один переход составляет 15%, при наличии контейнера — 30%.

Ступенчатые валы, полученные редуцированием, имеют шероховатость поверхности $Ra=1,25\div 0,32$ мкм, точность получаемых размеров соответствует 7—10-му квалитетам. Значительно повышаются эксплуатационные качества деталей. Срок службы деталей увеличивается до 30%, экономия металла составляет 15%, трудоемкость уменьшается примерно в 6 раз, производительность увеличивается в 6 раз.

Редуцированием можно обрабатывать гладкие валы диаметром до 100 мм и длиной до 1000 мм из конструкционных углеродистых и легированных сталей. Возможно редуцирование и пустотелых валов.

Редуцированием изготавливают шлицевые валы диаметром от 10 до 150 мм и длиной от 50 до 1500 мм с длиной шлицев, равной 1—3 наружного диаметра шлицев. Редуцирование осуществляют в цельных конических или роликовых матрицах. По данной схеме могут быть изготовлены шлицы с прямобоковой, эвольвентной, трапецеидальной и треугольной формой зуба. Допустимая степень деформации за один переход, как и для гладких ступенчатых валов, составляет 15%. Точность размеров шлицев соответствует 7—10-му квалитетам, шероховатость поверхности $Ra=2,5\div 0,32$ мкм.

Процесс редуцирования в цельных конических матрицах характеризуется возникновением больших сил трения на контактных поверхностях в очаге деформирования заготовки и, как следствие этого, значительным износом инструмента. Для снижения сил трения ВНИИ и ЭНИМС разработали процесс редуцирования шлицев в роликовой матрице. Число роликов соответствует количеству требуемых шлицев. Заготовка, подготовленная так же, как и при редуцировании через коническую матрицу, принудительно продавливается через свободно поворачиваемые ролики. Ролики поворачиваются за счет сил трения, возникающих при точении металла заготовки относительно поверхности роликов.

К штампам для редуцирования предъявляют высокие требования по точности и жесткости. Параллельность опорных плит для матриц и пуансонов должна лежать в пределах 0,01 на 100 мм. Рабочие вставки матриц изготавливают из сталей X12Ф1, X6ВФ, У10А и термообрабатывают до твердости HRC 60—62. Применяют также твердые сплавы ВК15, ВК20. Выталкиватели изготавливают из сталей У10А, X12Ф1, 9ХС с твердостью после термообработки HRC 50—60.

Для редуцирования ступенчатых, гладких и шлицевых валов применяют в основном гидравлические прессы, так как необходимо соблюдать постоянство усилия на всей длине хода. При формообразовании редуцированием длинных валов требуются

специальные гидравлические прессы горизонтального исполнения с устройствами для механизации и автоматизации.

Получение заготовок ротационным выдавливанием. На рис. 49 изображены схемы прямого и обратного ротационного выдавливания. Заготовка 1, надетая на оправку 2, деформируется под действием ролика 3. При обкатке заготовки происходит утонение стенки и увеличение длины исходной заготовки.

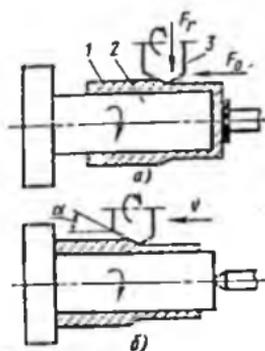


Рис. 49. Ротационное выдавливание:

а — прямое; б — обратное;
 F_r , F_d — соответственно осевое и радиальное усилия

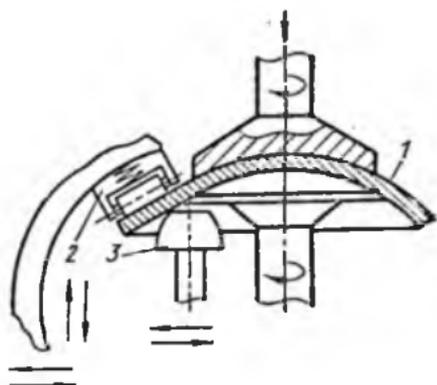


Рис. 50. Схема изготовления днищ обкаткой:

1 — днище; 2 — давящий ролик; 3 — формообразующий ролик

Ротационным выдавливанием можно получать детали длиной до 1600 и диаметром до 2500 мм. В качестве исходных заготовок применяют плоские заготовки, вырезанные из листа, и фасонные заготовки, получаемые штамповкой или литьем. Ротационное выдавливание можно осуществлять и без оправки. В этом случае используют специальный прижим-планшайбу. Из плоской заготовки можно получать различные конусные изделия путем применения разных скоростей вращения заготовки, усилий на роликах и величины подачи. Наибольшая частота вращения шпинделя станка 1500—400 об/мин, скорость подачи 4,1 м/мин, сила подачи при формообразовании деталей без утонения составляет 0,012—0,1 МН.

Для получения поверхностей со сложной конфигурацией применяют специальное копировальное устройство. Разрабатывают машины с программным управлением, на которых формообразование будет осуществляться автоматически по чертежу детали.

Получение днищ обкаткой. В строительном и дорожном машиностроении изготавливают много деталей типа днищ. Для производства днищ на передовых заводах отрасли применяют

процесс обкатки. Обкаткой можно изготовлять днища диаметром до 6 м. Заготовки толщиной до 5 мм обрабатывают в холодном, а при больших толщинах (до 20 мм) — в нагретом состоянии.

Так как производительность обкатки в 3 раза меньше, чем при штамповке на прессах, целесообразно этот процесс применять в мелкосерийном производстве. Сила давления на ролике зависит от толщины заготовки δ и температуры обработки; например для днищ, изготовляемых из стали Ст3 при $t=800^\circ\text{C}$, сила на ролике $P=10\delta$. На рис. 50 приведена схема обкатки днища.

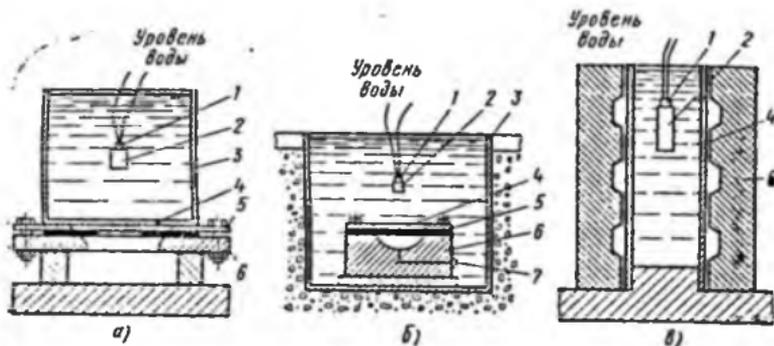


Рис. 51. Способы формовки взрывом:

1 — детонатор; 2 — взрывчатое вещество; 3 — резервуар; 4 — заготовка; 5 — прижимная плита; 6 — матрица; 7 — место присоединения вакуум-посоа

Штамповка заготовок взрывом. Крупногабаритные заготовки из листовых материалов (емкости, баки, крышки и т. п.) целесообразно штамповать с применением взрывчатых веществ. Наибольшее распространение получили следующие способы штамповки взрывом: свободное формообразование, когда плоской заготовке придается определенная форма в матрице в виде кольца со свободным выходом (рис. 51, а); заданное формообразование, когда окончательное получение формы происходит в матрице требуемой конфигурации, из полости которой откачен воздух и удалена жидкость (рис. 51, б); заданное формообразование в разъемных матрицах, когда исходная трубная заготовка служит одновременно и резервуаром жидкости (рис. 51, в).

Если сравнивать штамповку взрывом со штамповкой на прессах, то первую отличают простота конструкции и малая стоимость оснастки за счет отсутствия верхней половины штампа. Здесь роль верхней штампа выполняет передающая среда.

Взрывчатому веществу придается форма листа, шнура, прутка, трубки. Его располагают на некотором расстоянии от заготовки или в непосредственном контакте с ней. Регулирование мощности взрыва и его воздействия на заготовку осуществляют дозировкой взрывчатого вещества, расстоянием до заготов-

ки, подбором передающей среды (вода, воздух, песок, резина, пуансон). Чаще всего штамповку взрывом осуществляют в бассейне, расположенном вне производственных помещений.

Матрицы для штамповки взрывом изготавливают литьем из недорогих металлов, эпоксидных смол, керамики, армированных пластмасс. Скорость перемещения частиц металла достигает 30—300 м/с. Штамповкой взрывом получают детали диаметром до нескольких метров, с толщиной стенок до 25 мм.

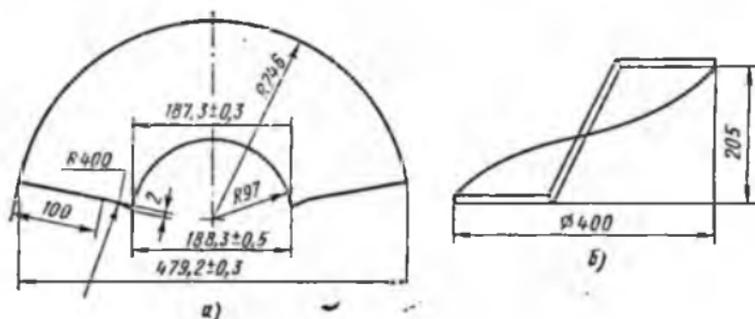


Рис. 52. Этапы изготовления полувитка спирали шнека

Изготовление спиралей шнеков способом горячей гибки. На заводах дорожного машиностроения в большом количестве изготавливают спиралевидные заготовки. На Кременчугском ордена Трудового Красного Знамени заводе дорожных машин разработан технологический процесс изготовления спиралей шнеков диаметром 400 мм из листа способом горячей гибки на frictionном прессе ФА-127 (сила $Q=2,5$ МН). Технологический процесс состоит из двух основных операций: вырубке полувитка спирали (изготовление заготовки) и гибки заготовки в горячем состоянии. Заготовку изготавливают вырубкой в холодном состоянии полукольца в штампе (рис. 52, а). Торцы заготовки имеют кривизну радиусом 400 мм. Полувитки спирали шнека гнут в горячем состоянии.

Необходимость горячей штамповки при изготовлении спиралей объясняется тем, что при холодной штамповке возникают большие упругие деформации, из-за которых форма спирали после гибки значительно отличается от заданной формы. Величину упругой деформации при проектировании и изготовлении штампа учесть невозможно. Заготовки нагревают в камерной нагревательной печи и штампуют при температуре 900—1000° С. Перед установкой нагретой заготовки в штамп конец ее отгибают на 80—90° (рис. 52, б) для предотвращения образования складки на витке шнека.

Гибочный штамп, в котором изготавливают полувиток спирали, состоит из обоймы, ограничивающей размер полувитка по наружному диаметру, центральной колонки, ограничивающей размер полувитка спирали по внутреннему диаметру, матрицы и пуансона, выполняемых из специального чугуна. Гибка производится за один ход ползуна прессы. В качестве исходной заготовки применяют плоскую заготовку, вырезанную из листа автотенной резкой или сваренную из нескольких частей.

Штамповка заготовок электрическим разрядом в жидкости. Сущность штамповки заготовок электрическим разрядом в жидкости (электрогидравлическая штамповка) заключается в преобразовании электрической энергии, накопленной в батарее конденсаторов, в работу пластической деформации. Электрогидравлической штамповке присущи преимущества, общие со штамповкой взрывом, а именно — удешевление и упрощение конструкции оснастки и высокая скорость деформирования. Однако электрогидравлическая штамповка располагает меньшими энергетическими возможностями по сравнению со взрывной штамповкой. В то же время при электрогидравлической штамповке улучшаются условия труда, установки размещают в обычных производственных зданиях, лучше обеспечиваются условия техники безопасности, лучшая управляемость процесса.

Электрогидравлической штамповкой осуществляют операции вытяжки листового материала с утонением и без утонения стенок изделия, отбортовку, раздачу полых изделий, пробивку отверстий, калибровку и т. п.

На рис. 53 приведена схема установки для электрогидравлической штамповки. Электрическая энергия из сети напряжением 110—120 В поступает в блок питания 1, где напряжение повышается до 5—10 кВ, а затем выравнивается с помощью выпрямителя 2. В накопителе 3 с импульсными конденсаторами 4 энергия накапливается до заданной величины и разряжается с помощью разрядника 5 на электроды 6, помещенные в жидкость.

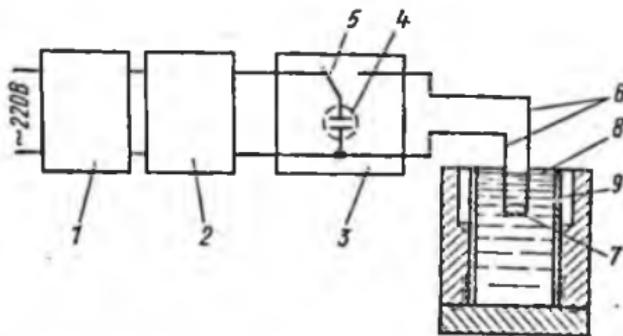


Рис. 53. Схема электрогидравлической штамповки

Между электродами помещен взрывающийся тепловой элемент 7, выполненный из токопроводящей проволоки. При импульсном разряде проволока мгновенно испаряется, образуя в жидкости 8 ударные волны, передаваемые заготовке 9. Матрицы для электрогидравлической штамповки изготавливают из стали, чугуна, цветных металлов и сплавов, железобетона, пластмасс, дерева. Матрицы снабжены устройствами для прижима заготовок к фланцу матрицы. Сила прижима

$$P_{\text{пр}} = qF,$$

где F — площадь заготовки под прижимом; q — давление прижима, для медных и латунных заготовок $q = 1 \div 2$ МН/м², для алюминия $q = 0,8 \div 1,2$ МН/м², для малоуглеродистых и аустенитных сталей $q = 2,5 \div 4,5$ МН/м², высокопрочных сталей $q = 4,0 \div 6,0$ МН/м².

В качестве примера можно привести электрогидравлическую штамповку днища из алюминиевого сплава диаметром 1740 мм и толщиной стенки 3,4 мм. Диаметр исходной заготовки равен 2057 мм. Штамповку осуществляли на установке с запасом энергии до 155 кДж, десятью разрядами. Расстояние между концами погруженных в воду электродов и заготовкой составляло 254 мм. Концы электродов соединяли магниевыми проволочками диаметром 3,2 мм.

Магнито-импульсная штамповка заготовок. Способ магнито-импульсного деформирования металлов основан на взаимодействии импульсного магнитного поля, возникающего в индукторе при разрядении батареи, и вихревых токов, возникающих в заготовке при ее пересечении магнитными силовыми линиями. Необходимые для деформирования заготовки силы могут возникать в результате взаимодействия заготовки (проводника) с перемещенным магнитным полем, двух проводников с током, проводника с быстро уменьшающимся магнитным полем. Импульсные поля создаются с помощью специальных установок путем мгновенного разряда энергии, накопленной в конденсаторной батарее через индуктор.

Принципиальная схема магнито-импульсной установки представлена на рис. 54. От сети через высоковольтный выпрямитель 1 заряжается конденсаторная батарея емкостью C . В конденсаторной батарее запасается энергия

$$E = \frac{CU^2}{2}.$$

Для срабатывания установки необходимо включить разрядник 2. При протекании тока через индуктор 3 возникает электромагнитное поле, напряженность которого зависит от взаимного расположения индуктора и заготовки 4, величины тока и его частоты. Переменное магнитное поле индуктирует токи в за-

готовке 4. Между токами, индуцированными в заготовке, и магнитным полем возникают электромеханические взаимодействия.

Максимальное давление, действующее на деформируемую заготовку,

$$p = \mu \frac{H^2}{8\pi},$$

где μ — магнитная проницаемость материала заготовки; H — напряженность магнитного поля.

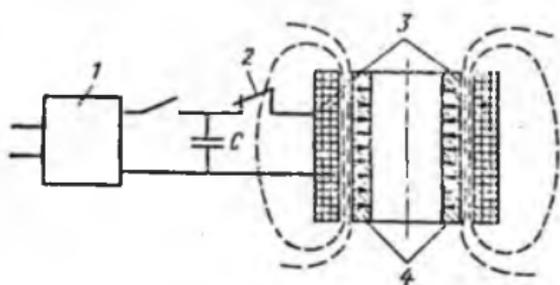


Рис. 54. Схема магнито-импульсной штамповки

При значениях напряженности магнитного поля, применяемой в магнито-импульсных установках, можно для всех материалов принимать $\mu = 1$.

Импульсной магнитной штамповкой могут быть осуществлены операции вытяжки, вырубки, пробивки, раздачи трубчатых заготовок, обжим, калибровка, сборка и т. п. Получают детали сложной формы из медных и алюминиевых сплавов, стали и других материалов диаметром до 200 мм с толщиной стенок 1,5—2,0 мм. С помощью импульсных магнитных полей можно пробивать отверстия диаметром не менее четырех толщин заготовки, причем характерной особенностью пробивки является отсутствие заусенца, втянутого в отверстие матрицы. Магнитной штамповкой из плоских заготовок могут быть получены самые разнообразные детали типа колпачков, днищ, крышек, панелей и т. п. Максимальный диаметр деталей достигает 300 мм при толщине стенки до 3,5—4 мм. Относительная глубина вытяжки, достигаемая на существующих установках, составляет 0,25—0,30.

Имеется возможность штамповать детали с предварительно отшлифованной поверхностью или с покрытием без нарушения поверхности. Слабым местом в установках магнито-импульсной штамповки является низкая стойкость индукторов. Необходимы материалы, имеющие высокую электрическую проводимость и большой предел прочности. Для изготовления индукторов, работающих в полях, напряженность которых менее $0,16 \cdot 10^6$ А/м, применяют медь М1, М2, а для индукторов, работающих в полях

с напряженностью $0,32 \cdot 10^6$ А/м, — бериллиевую бронзу. При работе индуктора в очень сильных полях применяют высокопрочные стали.

§ 4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЗАГОТОВОК

Оборудование для производства заготовок с точки зрения травматизма является одним из наиболее опасных. Кривошипные ковочно-штамповочные прессы должны быть оснащены средствами, не допускающими попадания рук работающих в рабочую зону.

При выборе оборудования необходимо учитывать возможность применения средств механизации и создания автоматических линий, значительно уменьшающих травматизм. Должна быть исключена возможность скопления полуфабрикатов и готовой продукции у рабочих мест. Оборудование, при работе которого создается шум, возникают вибрации, образуются вредные вещества, следует устанавливать в отдельном помещении.

Глава 3

ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

§ 1. ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ПОДГОТОВКА К ФОРМООБРАЗОВАНИЮ ДЕТАЛЕЙ

Способом порошковой металлургии можно изготовлять многие заготовки и детали машин из обычных материалов и с обычными свойствами, но с более высокими технико-экономическими показателями производства по сравнению с литьем, штамповкой и механической обработкой. Иногда методы порошковой металлургии позволяют существенно сократить расход металлов и снизить трудоемкость изготовления при производстве деталей.

Технология производства деталей методами порошковой металлургии состоит из следующих основных операций: получение металлических порошков, формообразование детали, спекание порошкового изделия, окончательная обработка (механообработка, калибровка, уплотняющее обжатие, пропитка другими материалами, термообработка и др.).

В строительном и дорожном машиностроении с успехом могут быть применены освоенные промышленностью порошковые материалы: антифрикционные, фрикционные, конструкционные и др.

Антифрикционные и металлокерамические материалы предназначены для изготовления деталей узлов трения, различного рода втулок, подшипников скольжения, торцовых уплотнений и т. д. Эти изделия с успехом заменяют детали из дорогостоящих цветных металлов и сплавов, а в ряде случаев шариковые и роликовые подшипники при повышении срока службы узла в 2—10 раз; значительно сокращают объем механообработки и отходы металла в стружку.

Фрикционные металлокерамические материалы на железной основе предназначены для работы в условиях сухого трения в тяжело нагруженных муфтах сцепления, тормозах, узлах трения тракторов, экскаваторов, автомобилей и др. Обладают повышенной износостойкостью. Материалы на основе алюминиевой бронзы предназначены для работы в условиях смазки в паре со сталями 45, 46Г и др. при давлении до 4 МПа и скорости скольжения до 40 м/с. Они обладают повышенной износостойкостью и меньшей стоимостью по сравнению с материалами на основе оловянистой бронзы.

Конструкционные металлокерамические материалы предназначены для изготовления самых разнообразных деталей машин, работающих в различных условиях и при различных нагрузках, в том числе и экстремальных. Типовыми конструкционными металлокерамическими деталями являются шестерни, кулачки, тройники, храповики, рычаги, гайки, фланцы державки инструментов, кулаки и т. д. Эти детали можно выпускать в виде готовых изделий или в виде заготовок, требующих незначительной механической обработки. Детали из металлокерамики обладают высокой плотностью и прочностью, приближающейся к прочности и плотности обычных деталей, изготовляемых из проката и литья.

Специальные металлокерамические материалы: высокопористые фильтровые материалы, материалы для поршневых колец, уплотнений, контактов, термпар, магнитомягкие, огнеупорные материалы, карбиды, селениды, сульфиды, фосфиды и др. Промышленность выпускает порошки железа, меди, никеля, кобальта, олова, серебра, вольфрама, молибдена, редких тугоплавких металлов и др. Металлические порошки являются основным сырьем для всех видов металлокерамических изделий, а также применяются в качестве армирующих и наплавленных твердых сплавов, присадочных и обмазочных материалов.

Перед формованием деталей порошки подвергаются подготовительным операциям отжига, рассеивания и смешивания. Операцию смешивания порошков с наполнителями (парафин, стеарат цинка, раствор каучука и др.), как и отжиг, производят для повышения прессуемости исходной шихты. Смешивание бывает механическое и химическое. Наибольшее распространение получило механическое смешивание, осуществляемое в смесителях различных конструкций.

§ 2. СПОСОБЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ ЗАГОТОВОК

Формообразование представляет собой процесс получения из порошка деталей определенной формы и размеров, обладающих прочностью, достаточной для извлечения из пресс-формы и последующей обработки. Существует множество схем и способов формообразования, осуществляемых с приложением внешнего давления и без него. В последнем случае в шихту добавляют специальные связующие вещества, а деталь затем обязательно подвергают спеканию (шликерное литье). Если формованне горячее, то спекание осуществляют либо в форме, либо в оболочке, с помощью которых изделие приобретает соответствующую конфигурацию (формование свободной засыпкой). Из процессов с применением внешнего давления наибольшее применение получили: статическое, гидростатическое, горячее прессование и вибропрессование.

Статическое прессование представляет собой процесс уплотнения порошковой шихты, насыпанной в пресс-форму (рис. 55). Различают схемы одно- и двустороннего прессования. Двустороннее прессование обеспечивает более равномерное распределение плотности по высоте изделия. Данный метод получил наибольшее распространение на машиностроительных предприятиях благодаря простоте осуществления процесса и возможности автоматизации и механизации. Недостатком процесса является неравномерность распределения плотности при изготовлении высоких деталей.

Гидростатическое прессование (рис. 56) заключается в том, что подлежащий уплотнению материал помещается в эластичную оболочку и в герметической камере подвергается гидростатическому сжатию. В качестве рабочей жидкости чаще всего

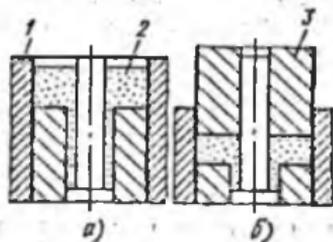
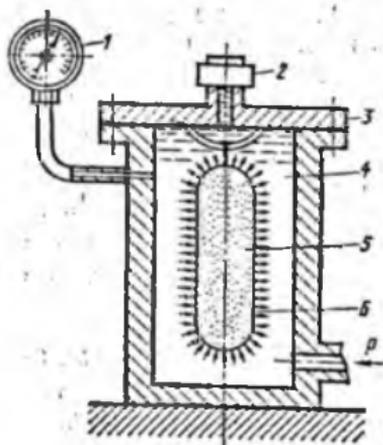


Рис. 55. Схема уплотнения порошка:
а — заполнение пресс-формы 1 порошком 2; б — уплотнение порошка пуансоном 3

Рис. 56. Схема гидростатического прессования металлических порошков:

1 — манометр; 2 — предохранительный явван; 3 — крышка; 4 — жидкость; 5 — прессуемый порошок; 6 — эластичная оболочка



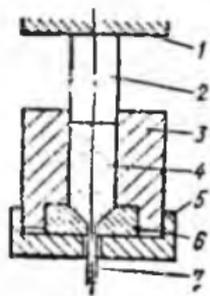
применяют воду или спирт. Гидростатическое давление составляет примерно 100—300 МН/м², достигая в отдельных случаях 100 МН/м².

Основным преимуществом гидростатического прессования является возможность получения крупногабаритных деталей с довольно равномерным распределением плотности по всему их объему. К недостаткам следует отнести отсутствие механизации ручных операций, которые, занимая много времени, не дают возможности получить высокую производительность процесса.

Технология изготовления деталей методом гидростатического прессования была разработана в ЦНИИЧЕРмете. На полупромышленных и промышленных установках, спроектированных в этом институте, прессуют в настоящее время изделия в виде цилиндров, шаров, труб и т. п. массой до 350 кг.

За последнее время предложены разновидности гидростатического прессования, устраняющие отдельные недостатки этого способа. К ним, в первую очередь, следует отнести метод прессования в эластичных оболочках, играющих роль формирующей и передающей гидростатическое давление среды, а также горячее изостатическое прессование.

Мундштучное прессование (рис. 57) представляет собой один из методов порошковой металлургии, позволяющий получить значительные по протяженности в осевом направлении металлокерамические детали с достаточно равномерным распределением плотности. Сущность этого способа заключается в том, что пластифицированный металлический порошок продавливается через отверстие соответствующей конфигурации и приобретает определенную форму. В отличие от гидростатического мундштучного прессования обеспечивает значительно более точные размеры в радиальном направлении, позволяет получать детали с пористостью до 70% и гораздо проще в техническом отношении. Главным недостатком этого метода является необходимость введения в шихту значительного количества пластифицирующих добавок, которые часто осложняют процесс спекания и приводят к нежелательному загрязнению материала готового изделия.



Горячее прессование. В порошковой металлургии различают собственно горячее прессование и спекание под давлением. Различие это сводится к тому, что горячее прессование происходит с большой скоростью уплотнения

Рис. 57. Схема пресс-формы для мундштучного прессования:

1 — плита пресса; 2 — верхний пуансон; 3 — контейнер; 4 — шихта; 5 — основание; 6 — мундштук (матрица); 7 — обкатка заготовки

при относительно высоких нагрузках, в то время как спекание под давлением осуществляется значительно медленнее и требует сравнительно низких усилий прессования. Метод горячего прессования позволяет получить детали из порошков, не поддающихся формованию или спеканию обычными способами, а также детали больших габаритных размеров и сложной формы. Кроме того, этим способом можно получать материалы с плотностью, приближающейся к теоретической, и со свойствами компактных металлов, обработанных давлением.

Наряду с указанными преимуществами горячее прессование имеет некоторые существенные недостатки. Так, процесс этот менее производительен, чем холодное прессование, связан со значительным износом пресс-форм и с трудностью подбора для них материала, требует защиты формуемого порошка от вредного воздействия окружающей среды и т. п.

Горячее прессование осуществляется преимущественно на гидравлических прессах. Прессование производится в пресс-формах из жаропрочных сплавов или из графита и графитизированного угля, нагрев которых осуществляется либо с применением внешних нагревателей, либо индукционным нагревом, либо высокочастотным нагревом.

Вибропрессование. Сущность данного метода заключается в том, что уплотнение материала под действием вибрации в процессе прессования протекает значительно интенсивнее за счет лучшей укладки частиц. В качестве источников колебаний применяют чаще всего механические или пневматические вибраторы.

Для достижения одинаковой плотности при вибропрессовании требуются значительно меньше затраты энергии и удельные нагрузки по сравнению с обычным статическим прессованием. При этом пористость полученных заготовок будет находиться в прямой зависимости от гранулометрического состава порошка, частоты и амплитуды колебаний, направления вибраций и т. д. Можно сказать, что этот метод найдет в дальнейшем широкое применение, особенно при изготовлении изделий из труднопрессуемых материалов (карбидов, боридов, силицидов и т. п.), а также при производстве деталей крупногабаритных и сложной формы.

Из рассмотренных методов прессования статическое прессование является наиболее производительным, простым и дешевым, что и обусловило его наибольшую распространенность.

§ 3. СПЕКАНИЕ ПОРОШКОВЫХ ЗАГОТОВОК

Процесс спекания, как правило, осуществляется в среде защитного газа или в вакууме, что диктуется необходимостью предохранения частиц порошка от окисления при нагреве до высоких температур. В качестве защитных сред при спекании приме-

няют водород, диссоциированный аммиак, природный конвертированный газ, генераторный газ, эндотермический газ, инертные газы (аргон, гелий), азот. Спекание деталей на железной основе производят при температуре 1000—1200° С и выдерживают при этой температуре в течение 2—3 ч. Детали из цветных порошкообразных металлов спекают при температуре 700—800° С (медь, латунь, бронза) и выдерживают в течение 2 ч.

§ 4. ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОРОШКОВЫХ ЗАГОТОВОК

Для прессования порошковых заготовок применяют гидравлические и механические прессы, различающиеся по типу привода, схеме приложения сил, степени автоматизации. Применяют прессы одностороннего и двустороннего прессования, вертикальные и горизонтальные, автоматизированные и неавтоматизированные. Механические прессы делят на кривошипные, кривошипно-коленчатые, кулачковые, карусельные, фрикционные. Применяемые прессы должны обеспечивать достаточное давление в нужном направлении, возможность регулирования хода и скоростей прессования и выталкивания, возможность регулирования наполнения пресс-формы порошком и т. п. Для прессования порошков выпускают прессы усилием до 50,00 МН.

Для формообразования металлокерамических изделий применяют пресс-формы, основными элементами которых являются пуансоны и контейнеры. Пресс-формы могут быть стационарные и съемные, с объемной и весовой дозировкой порошка, со сплошной и разъемной матрицей, одногнездные и многогнездные и т. п. Пуансоны и матрицы изготавливают из сталей У8А, У10А, 9ХС, ШХ15, Х12Ф1, ЭХ2В8Ф с термообработкой до твердости НРС 54—64.

Глава 4

СВАРНЫЕ ЗАГОТОВКИ:

В строительном и дорожном машиностроении сварка находит самое широкое применение при изготовлении деталей, сборочных единиц изделий. Удельный вес сварных конструкций в общем объеме многих дорожных и строительных машин достигает 60—80%. Особенно эффективно применение сварных конструкций при изготовлении крупногабаритных машин. Преимущества сварных конструкций заключаются в том, что не требуется изготовлять дорогие модели для крупных отливок, цикл процесса изготовления ускоряется, получается экономия металла и снижается трудоемкость изготовления. Еще больший технико-экономический эффект достигается, когда в качестве сое-

днейных элементов конструкций наряду с листовым и сортовым прокатом используют штампованные или литые заготовки.

Для соединения элементов конструкций используют разнообразные способы сварки. Так, для соединения элементов, выполненных из тонколистовых материалов, применяют контактную (точечную, стыковую, роликовую) рельефную сварку, сварку электрозаклепками. При сварке элементов толщиной свыше 3 мм применяют ручную дуговую сварку, автоматическую и полуавтоматическую сварку под слоем флюса и в среде углекислого газа. При толщине листов свыше 40 мм основные швы выполняют методом электрошлаковой сварки.

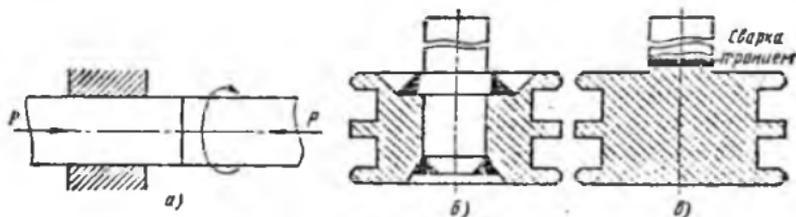


Рис. 58. Сварка трением:

а — схема сварки; б — соединение штока с поршнем по старой технологии; в — соединение штока с поршнем сваркой трением

Особенности процесса электрошлаковой сварки позволяют осуществлять качественную сварку деталей толщиной до 100—120 мм за один проход одним электродом. При многоэлектродной сварке можно сваривать детали практически любой толщины. Очень перспективен процесс изготовления сложных деталей путем сочетания сварки трением, с ковкой, штамповкой или литьем (взамен цельноштампованных или цельнолитых).

Соединение деталей трением происходит при быстром вращении их поверхностей относительно друг друга и осевом сдавливании. После выделения в месте контакта тепла, достаточного для нагрева соприкасаемых поверхностей до температуры 950—1300° С, вращение быстро прекращают и к неподвижным деталям прикладывают сжимающую нагрузку (рис. 58). Сварочное соединение образуется в твердом состоянии в результате совместного пластического деформирования. Достоинство метода — получение мелкозернистой прочной структуры шва, снижение требований к подготовке поверхностей, возможность сварки разнородных металлов, простота механизации и автоматизации. Недостаток — ограниченность формы и размеров свариваемых деталей (хотя бы одна из них должна быть телом вращения). Трением сваривают валы диаметром 6—169 мм. При сварке трением давление операций нагрева и проковки составляет 50—160 МН/м², а осадка от 3 до 6 мм. Для сварки трением выпускают машины различной мощности, например, МСТ-23, МСТ-51.

Сваркой трением получают детали режущего концевго инструмента (сверла, фрезы, метчики), причем режущую часть выполняют из инструментальной стали, а державку приваривают из обычной углеродистой стали. Этим способом получают также детали измерительного инструмента, детали гидро- и пневмоцилиндров, детали типа стержня с утолщениями, клапан двигателя, водило вала отбора мощности, заготовки болтов и др.

Глава 5

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК

Резкое повышение качества производимых заготовок и максимальное приближение формы и размеров заготовок к готовым деталям являются главным направлением развития заготовительного производства. Основными задачами в развитии объемной горячей и холодной штамповки, литейного и сварочного производства являются повышение точности заготовок, производительности труда, улучшение условий труда, экономия металла.

Повышение точности и экономии металла в основном решается путем применения более совершенного оборудования, внедрения прогрессивных технологических процессов, инструмента и оснастки. Так, при обработке давлением задача повышения точности штампованных изделий решается применением кривошипных горячештамповочных прессов повышенной жесткости, повышением точности массы исходных заготовок, применением процессов штамповки в закрытых штампах, малоотходной штамповки, штамповки выдавливанием, применением штампо-сварных заготовок и др. В литейном производстве эта задача решается применением совершенного оборудования и внедрением таких процессов, как литье цветных и черных металлов под давлением, литье в оболочковые формы и по выплавляемым моделям, литье в металлические формы, центробежное литье и др. Эти способы дают возможность в наибольшей степени повысить размерную точность литых заготовок и обеспечить точную массу их.

Задача повышения производительности решается механизацией и автоматизацией процессов заготовительного производства, созданием комплексных линий, включающих операции формообразования заготовок, совмещением их с термообработкой, правкой, а также с последующей механической обработкой.

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ
ДЕТАЛЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН****Глава 1****МЕТОДЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ РЕЗАНИЕМ****§ 1. ТИПИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
И ГРУППОВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ**

Прежде чем перейти к изложению современных методов механической обработки деталей строительных и дорожных машин, необходимо осветить вопросы, касающиеся типизации технологических процессов и групповых методов обработки. Идея типизации технологических процессов была выдвинута проф. А. Н. Соколовским. Первым этапом типизации технологических процессов является классификация деталей машин. Детали могут быть разделены на классы по общности технологических задач, возникающих при их изготовлении (валы, втулки, диски, рычаги, плиты, стойки, угольники, бабки, зубчатые колеса, ходовые винты, червяки, мелкие крепежные детали, шпонки и другие детали).

В общесоюзном классификаторе все машиностроительные детали делят на два класса. К первому классу относятся все детали типа тел вращения (валы, втулки, диски, цилиндры и др.), ко второму — детали, не являющиеся телами вращения (рычаги, корпусные детали, угольники, плиты и др.).

Классифицируя детали по методу проф. А. Н. Соколовского, далее производят разбивку деталей на группы, подгруппы и типы — в пределах каждого класса. Если взять первый класс деталей (валы), то их можно разбить на группы: гладкие валы и оси, ступенчатые валы, валы-шестерни, шлицевые валы. В свою очередь, каждую из этих групп можно разбить на подгруппы, например, ступенчатые валы делят на полусоси, валы коробок передач, карданные валы. Подгруппу далее дифференцируют по типам. В частности, подгруппа валов коробок передач делится на верхние, нижние валы и т. д. Очевидно, что детали, входящие в категорию данного типа, должны быть общими по своим формам и размерам. Основным критерием общности деталей в этом смысле является возможность разработки для них одного маршрутного технологического процесса.

Типовая деталь объединяет совокупность деталей, имеющих одинаковый план (маршрут) операций, осуществляемых на од-

ном оборудовании с применением однотипных приспособлений и инструментов. Разработка классификации сочетается с унификацией и нормализацией их конструкций. Это позволяет укрупнить партии деталей, применить при их изготовлении более прогрессивную технологию, а также сократить номенклатуру режущих и измерительных инструментов.

Следующим этапом типизации технологических процессов является разработка принципиально общего технологического процесса с установлением типовых последовательностей и содержания операций, типовых схем базирования и конструкций оснастки. На основании типовых технологических процессов создают типовые компоновки специализированного оборудования.

Метод групповой обработки, разработанный проф. С. П. Митрофановым, является формой реализации и развитием типизации технологических процессов. За основу метода, так же как и при типизации технологических процессов, принимается технологическая классификация заготовок, заканчивающаяся формированием группы, являющейся главной технологической единицей групповой обработки. Если при типизации технологических процессов в общий класс объединяют заготовки по принципу общности их конфигурации, технологического маршрута и содержания отдельных операций, то при групповой обработке под классом понимают совокупность деталей, характеризуемую общностью типа оборудования, необходимого для обработки детали в целом или отдельных ее поверхностей. Таким образом, при групповой обработке создают классы заготовок по видам обработки. Основным признаком для объединения деталей в группы по отдельным технологическим операциям является общность обрабатываемых поверхностей или их сочетаний.

При формировании групп заготовок учитывают следующие признаки: общность элементов (поверхностей), подлежащих обработке; точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей; однородность исходной заготовки и обрабатываемого материала, позволяющая вести обработку одинаковыми методами и общими режущими инструментами; близость размеров исходных заготовок, позволяющая обрабатывать их на одном и том же оборудовании в однотипных приспособлениях; серийность выпуска заготовок и трудоемкость их обработки по существующей программе.

Групповая обработка может быть ограничена выполнением отдельных групповых операций (заготовительные, черновые, отделочные операции и др.), а также можно применять ее для построения группового технологического процесса заготовок в целом.

§ 2. ПРИНЦИПЫ БАЗИРОВАНИЯ И УСТАНОВКИ ДЕТАЛЕЙ

Базирование необходимо при конструировании, изготовлении, измерении и рассмотрении изделия в сборе. В соответствии

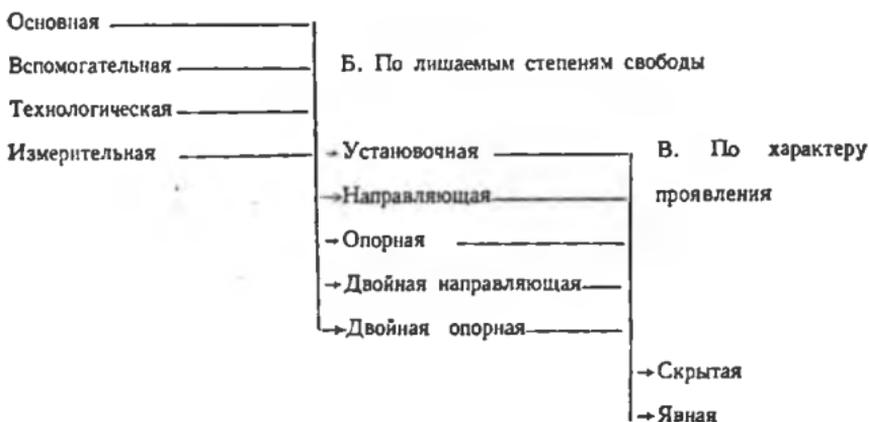
с этим базы делят по назначению на три вида: конструкторские, технологические и измерительные. Конструкторские базы, в свою очередь, делятся на основные и вспомогательные.

Законы базирования являются общими для всех стадий создания изделия. Базы могут различаться лишь по отнимаемым от базирюемых заготовки, детали или сборочной единицы степеням свободы. Это обстоятельство выдвинуло еще два признака классификации: по лишаемым базой степеням свободы и по характеру проявления.

Ниже приведена классификация баз по ГОСТ 21495—76.

А. По назначению

Конструкторская:



Конструкторская база — база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

Основная база — конструкторская база, используемая для определения положения присоединяемого изделия.

Технологическая база — база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта.

Измерительная база — база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

Установочная база — база, лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы (перемещения вдоль одной из осей и поворотов вокруг других осей).

Направляющая база — база, лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы (перемещения вдоль одной из осей и поворота вокруг другой оси).

Опорная база — база, лишаящая заготовку или изделие одной степени свободы (перемещения или поворота).

Двойная направляющая база — база, лишаящая заготовку или изделие четырех степеней свободы (перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг них).

Двойная опорная база — база, лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы (перемещений вдоль двух координатных осей).

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

Явная база — база заготовки или изделия в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисков.

Важным обстоятельством, влияющим на качество деталей и узлов машины, является правильный выбор конструкторских и технологических баз, обеспечивающих необходимую взаимосвязь между конструкцией детали и технологией ее изготовления.

При разработке технологического процесса прежде всего следует выявить возможность совмещения технологических (исходных, установочных и измерительных) и конструкторских баз, что обуславливает получение лучших результатов по точности размеров. Однако такие возможности не всегда имеются.

На первых операциях обработки используют черновые базы. При этом следует руководствоваться таким технологическим правилом: черновой базой может служить поверхность только на одной установке. Если на заготовке нет достаточно ровной и сравнительно чистой черновой поверхности, необходимо предусмотреть создание искусственной технологической базы, которая при завершении обработки может быть ликвидирована.

При обработке желательно, по возможности, использовать одну и ту же установочную базу на всех операциях. Такое использование установочных баз, называемое принципом постоянства баз, обеспечивает при обработке повышение точности взаимного расположения поверхностей.

Использование принципа совмещения баз, когда в процессе обработки установочная база является одновременно и измерительной, позволяет повышать точность размера вследствие того, что погрешность базирования в этом случае отсутствует.

Следующим этапом подготовительных работ перед обработкой является правильный выбор способов установки деталей. Такими способами в основном являются следующие: установка деталей на станках по разметке, установка деталей с выверкой на станках или универсальных приспособлениях и установка деталей в специальных приспособлениях.

Первый способ (установка по разметке) не обеспечивает высокой точности, его применяют в основном при обработке крупных деталей в серийном и единичном производствах. Второй способ также используют в единичном и серийном производствах в случае нерентабельности проектирования и изготовления специальной оснастки. Третий способ, предусматриваю-

ший (необходимость наличия специального приспособления, имеет место в серийном и массовом производствах и обеспечивает стабильное положение детали при обработке.

В качестве примера на рис. 59 приведена схема специального приспособления. Правильная установка детали 2 цилиндрической формы здесь обеспечивается двумя установочными ба-

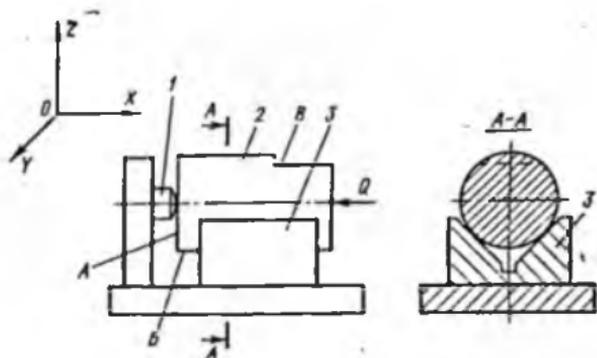


Рис. 59. Схема закрепления детали

зами: цилиндрической *Б*, соприкасающейся с призмой *З*, и торцовой *А*, прижимаемой силой *Q* к опоре *1*. Обрабатываемая деталь имеет шесть степеней свободы (рис. 60, *а*). Деталь совершает продольные перемещения вдоль осей координат *X*, *Y*, *Z* и вращается вокруг этих осей (ω_x , ω_y , ω_z).

Для обеспечения неподвижности детали при обработке необходимо лишить ее возможности указанных перемещений, т. е. лишить всех степеней свободы. Это достигается установкой заготовки на шесть точек. Эти точки помещают на детали в местах, выбор которых зависит от конфигурации и положения детали относительно режущего инструмента.

Рассмотренный способ установки деталей получил название правила шести точек, которое предусматривает такую установку и закрепление детали, которые лишают ее всех шести степеней свободы. На рисунке показаны два варианта установки детали: на опорные точки (рис. 60, *б*), на установочные пальцы *1* (рис. 60, *в*), расположенные на координатных плоскостях. Очевидно, что установочные пальцы *1*, *2*, *3* препятствуют перемещению детали в направлении оси *Z* и вращению относительно осей *X* и *Y*, пальцы *4* и *5* не дают возможности детали перемещаться и вращаться относительно оси *X*, а палец *6* не допускает смещения детали относительно оси *Y*. Рассмотренная схема закрепления деталей при обработке может реализовываться различными конструкторскими решениями. В частности, одним из вариантов опорных устройств являются установочные пальцы *2* со сферическими головками либо опорные пластины *1* (рис. 60, *г*). Мо-

гут быть использованы и другие решения, например, применение призматических опор в комбинации с установочными пальцами. Необходимо также руководствоваться правилом, по которому установка на шесть точек обязательна лишь при установке детали по трем установочным базам. При наличии двух установочных баз вполне достаточно пяти опорных точек. Если же

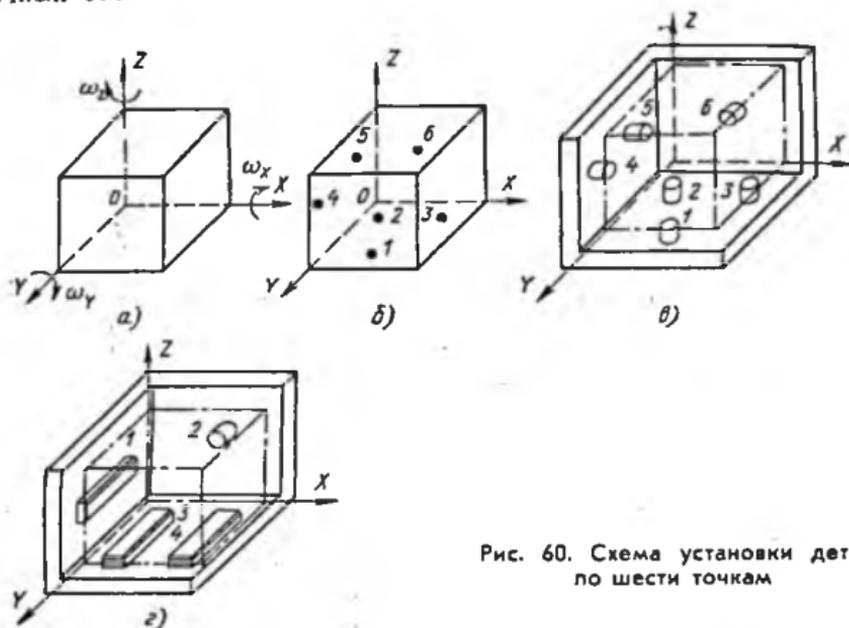


Рис. 60. Схема установки детали по шести точкам

имеется лишь одна плоская установочная база, то ограничиваются тремя опорными точками. Когда обрабатываемая деталь имеет базой цилиндрическую поверхность, ее крепят четырьмя точками.

Все эти способы необходимо учитывать при выборе методов обработки. Следовательно, первой задачей является выбор числа и характера расположения базовых поверхностей, второй — назначение числа опорных точек и их координат.

§ 3. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Самыми распространенными деталями типа тел вращения в строительном и дорожном машиностроении являются гладкие, ступенчатые, полые и эксцентриковые валы и оси (рис. 61). Указанные детали применяют при изготовлении экскаваторов, автокранов, башенных кранов, автогрейдеров и других строительных и дорожных машин. Детали по длине достигают 1000 мм и по диаметру до 600 мм, причем детали имеют достаточную жесткость, характеризующуюся отношением длины к диаметру менее 12.

Валы небольшой длины обычно обрабатывают, закрепляя их в патронах токарно-револьверных станков. При длине валов, превышающей 150 мм, применяют токарные станки и обработку их ведут с креплением в центрах. При необходимости, т. е. при малой жесткости, используют люнеты. Для изготовления валов и осей используют сталь марок 40, 45, 18 ХГТ, 40Х, 45Г2,

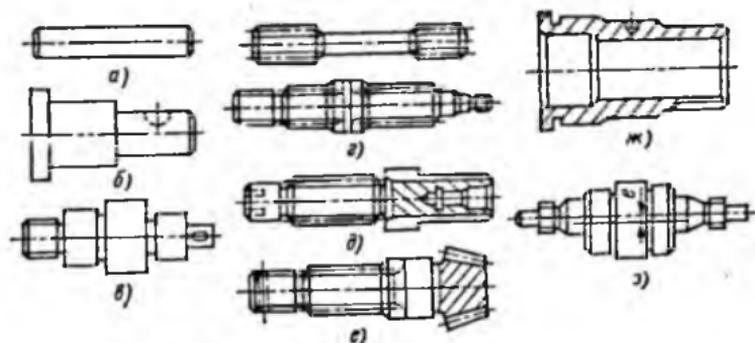


Рис. 61. Оси и валы строительных и дорожных машин

50Г и др. Большой частью валы термически обрабатывают и твердость их $HRC\ 50-60$. Ниже приведены технологические маршруты обработки типовых конструкций валов строительных и дорожных машин (табл. 5—10).

Таблица 5

Маршрут обработки гладких валов, изготавливаемых из калиброванного проката длиной 250—400 мм, диаметром 40—50 мм (рис. 61, а)

Номер операции	Операция	Установочная база	Станок
1	Отрезка заготовки и снятие фасок	Цилиндрическая и торцовая поверхность	Токарно-отрезной
2	Черновое шлифование	Цилиндрическая поверхность	Бесцентрово-шлифовальный
3	Фрезерование шпоночных канавок	Цилиндрическая и торцовая поверхность	Фрезерный
4	Сверление отверстий	То же, и шпоночный паз	Сверлильный
5	Термическая обработка	—	Установка ТВЧ
6	Чистовое шлифование	Цилиндрическая поверхность	Бесцентрово-шлифовальный

В зависимости от конкретных условий возможны и другие варианты обработки гладких валов, например, при изготовлении гладких валов из горячекатаного проката черновое шлифование заменяют обтачиванием (черновым и чистовым). Чисто-

Т а б л и ц а 6

Маршрут обработки ступенчатых валов длиной 260—500 мм,
диаметром 50—70 мм, имеющих центральные отверстия (рис. 61, а)

Номер операции	Операция	Установочная база	Станок
1	Отрезка заготовки	Цилиндрическая и торцовая поверхности	Дисковая пила
2	Фрезерование торцов и зацентрирование	То же	Фрезерно-центровальный
3	Черновое обтачивание поверхности, под которой нет отверстия	Ось детали	Токарный
4	То же, другой поверхности	Наружная цилиндрическая поверхность	»
5	Термическая обработка	—	Установка ТВЧ
6	Рихтование (при необходимости)	—	Пресс
7	Чистовое обтачивание всего вала	Центровые отверстия	Токарный
8	Фрезерование шпоночной канавки	Цилиндрическая и торцовая поверхности	Фрезерный
9	Сверление отверстия	То же	Сверлильный
10	Фрезерование лысок	Наружная цилиндрическая поверхность и отверстие детали	Фрезерный
11	Шлифование	Центровые отверстия	Круглошлифовальный
12	Нарезание резьбы и зачистка	То же	—

Т а б л и ц а 7

Маршрут обработки шлицевых валов длиной 500—750 мм и диаметром 70—100 мм из штампованных заготовок (рис. 61, г, д, е)

Номер операции	Операция	Установочная база	Станок
1	Фрезерование торцов	Наружная цилиндрическая и торцовая поверхности	Фрезерный
2	Зацентрировка	То же	Двусторонний центровальный
3	Черновое обтачивание наиболее длинных ступеней	Ось детали	Токарный
4	То же, остальных ступеней	То же	»
5	Термическая обработка	—	Установка ТВЧ
6	Правка	—	Пресс
7	Чистовое обтачивание длинных ступеней с подрезкой торцов	Центровые отверстия	Токарный
8	Чистовое обтачивание других ступеней с подрезкой торцов	То же	»
9	Протачивание канавок, фасок и нарезание резьбы	»	»
10	Фрезерование шлицев	»	Фрезерный
11	Шлифование	»	Круглошлифовальный
12	Зачистка заусенцев и резьбы	»	—

Таблица 8

Маршрут обработки полых валов длиной 400—500 мм и диаметром 80—115 мм, изготовленных из труб (рис. 61, ж)

Номер операции	Операция	Установочная база	Станок
1	Отрезка заготовки	Наружная цилиндрическая поверхность	Дисковая пила
2	Зенкерование фаски под центр	То же	Сверлильный
3	Черновое обтачивание со стороны меньшего диаметра	Ось	Токарный
4	Термическая обработка	—	Установка ТВЧ
5	Растачивание осевого отверстия	Наружная цилиндрическая поверхность	Токарно-револьверный
6	Подрезание торца со стороны большого диаметра, растачивание отверстия и снятие фаски	То же	То же
7	Чистовое обтачивание ступеней, канавок и подрезание торцов	Внутренняя цилиндрическая поверхность и фаска	Токарный
8	Обработка фаски, торцов и нарезание резьбы	То же	Токарный
9	Фрезерование паза	—	Фрезерный
10	Шлифование наружной поверхности	Центрирующие фаски	Круглошлифовальный
11	Зачистка резьбы и заусенцев	—	—

Таблица 9

Маршрут обработки эксцентриковых валов длиной 1000—2000 мм и диаметром 150—200 мм

Номер операции	Операция	Установочная база	Станок
1	Разметка центровых отверстий	Наружная цилиндрическая поверхность	Разметочная плита
2	Центрование с двух сторон	То же	Расточной, центровочный
3	Черновое обтачивание эксцентричных поверхностей с установкой одного конца в четырехкулачковом патроне, другого — в центре	Наружная цилиндрическая поверхность и центровое отверстие	Токарный
4	Подрезание торцов с установкой в четырехкулачковом патроне и люнете	Наружная цилиндрическая поверхность	—
5	Разметка других центровых гнезд для эксцентриситета	То же	Разметочная плита
6	Центрование с двух сторон	—	Расточной, центровочный
7	Черновое обтачивание концентричных поверхностей	Центровые отверстия	Токарный

Номер операции	Операция	Установочная база	Станок
8	Чистовое обтачивание концентричных поверхностей и нарезание резьбы	Центровые отверстия	Токарный
9	Шлифование концентричных конических поверхностей	То же	Круглошлифовальный
10	То же, цилиндрических поверхностей	»	«
11	Разметка для установки бугелей с эксцентричными гнездами	—	Разметочная плита
12	Установка бугелей	—	То же
13	Чистовое обтачивание и торцование эксцентричных поверхностей	Центровые гнезда в бугеле	Токарный
14	Шлифование эксцентричных поверхностей	То же	Круглошлифовальный
15	Снятие бугелей	»	Разметочная плита
16	Разметка шпоночных канавок	—	То же
17	Фрезерование шпоночных канавок	Наружные цилиндрические поверхности	Фрезерный
18	Сверление осевых отверстий и нарезание резьбы	То же	Расточной
19	Зачистка резьбы и заусенцев	—	—

вое шлифование, при необходимости упрочнения цилиндрической поверхности, может быть заменено обработкой методом обкатки и т. д.

При наличии в шлицевом валу центрального отверстия необходимо пользоваться люнетом, для чего протачивают предварительно специальную шейку на валу, которая является установочной базой при сверлении и развертывании этого отверстия.

Значительной сложностью отличаются маршруты обработки эксцентриковых валов (рис. 61, з). Указанные валы применяют в щековых дробилках и других строительных и дорожных машинах.

В приведенных таблицах дана типовая маршрутная технология, которая может претерпевать соответствующие изменения и уточнения, связанные с наличием того или иного вида оборудования, оснастки, возможностями получения заготовок, техническими условиями, конструкцией детали, а также типом производства.

Далее будут рассмотрены методы выполнения операций, необходимых для обработки указанных типов валов строительных и дорожных машин.

Как видно из маршрутной технологии, для большинства валов самой первой операцией является обработка торцов и свер-

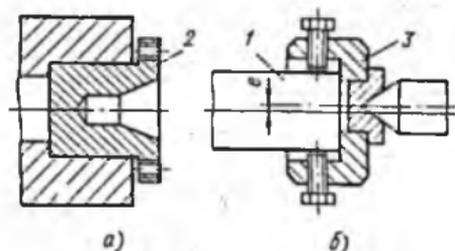
ление центровых отверстий. Эта операция является ответственной, так как точность дальнейшей обработки зависит от точности зацентровки. Во избежание увода сверла необходимо предварительно осуществить обработку торцов, которая может быть произведена на токарных, токарно-револьверных, горизонтально-фрезерных и фрезерно-центровальных станках. Выбор станка определяется при этом габаритными размерами детали и типом производства. Торцы валов фрезеруют на горизонтально-фрезерном станке с применением двухместного приспособления.

Чтобы не допускать накапливания незаконченных деталей и быстро передавать их на последующие операции, применяют такой порядок обработки: после каждого хода стола станка деталь перекадывают с первой позиции на вторую, осуществляя при этом ее поворот другим концом, а со второй позиции снимают обработанную деталь.

При обработке больших партий валов подрезку торцов совмещают с зацентровкой, используя для этой цели специальные фрезерно-центровальные станки. Крупные валы зацентровывают на расточных станках. Типы и размеры центровых отверстий и соответствующего режущего инструмента регламентированы ГОСТ 14952—75. Являясь установочной базой валов, центровые отверстия должны удовлетворять следующим требованиям: соосности обоих отверстий, соответствию углов конусов отверстий углам конусов станка, одинаковой глубины отверстий относительно торцов.

При обработке валов, имеющих осевые отверстия, применяют специальные центровые пробки (жесткие и разжимные), а при обработке эксцентриковых валов — специальные приспособления, называемые бугелями (рис. 62). Пробку 2 жестко закрепляют в корпусе детали. Бугелем 3 с помощью стопорных болтов можно закрепить деталь 1 с заданным эксцентриситетом e .

Рис. 62. Центровые съемные гнезда (а) и бугель, применяемый при обработке эксцентричных валов (б)



После обработки торцов и их зацентровки обычно следуют основные операции по обработке цилиндрических поверхностей. В зависимости от типа производства, конфигурации и размеров валов выбирают соответствующее технологическое оборудование.

В серийном и массовом производстве при обработке валов применяют автоматы, полуавтоматы и гидрокопировальные станки; в мелкосерийном — универсальные станки, при необходимости оснащенные гидрокопировальными механизмами. Валы, обладающие недостаточной жесткостью, обрабатывают преимущественно на универсальном оборудовании с применением люнетов. При базировании люнета на необработанную поверхность

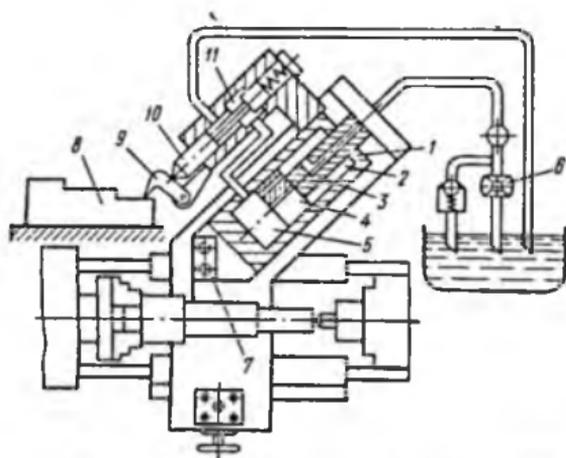


Рис. 63. Гидрокопировальный суппорт КСТ-1

необходимо исключить возможность их непосредственного контакта. С этой целью на указанную поверхность надевают специальную втулку, фиксируемую с обеих сторон кольцами, закрепленными стопорными болтами.

При обработке крупных и полых валов, а также при обработке на скоростных режимах резания целесообразно применить вращающиеся центры.

В строительном и дорожном машиностроении широко применяются гидрокопировальные суппорты, расширяющие технологические возможности токарных станков. Схема гидрокопировального суппорта КСТ-1 приведена на рис. 63. Суппорт имеет гидравлический цилиндр 1 дифференциального типа, оснащенный резцедержателем 7. Поршневой шток 3 жестко соединен с плитой и постоянно находится в неподвижном положении. Полезный объем полости 5 цилиндра вдвое превышает объем полости 2, они сообщаются между собой через отверстие, имеющееся в поршне 4.

Копировальный механизм работает следующим образом. Насос 6 из бака подает масло через фильтр и далее через отверстие штока 3 в полость 2 цилиндра. Через отверстие штока масло проходит в левую полость 5 этого цилиндра, откуда через

кольцевое пространство 11 гидрораспределителя попадает в сливную полость. На конце золотника имеется плунжер 10, который прижимается пружиной к шупу 9. Если шуп 9, будучи прижатым к шаблону 8, при продольной подаче будет повторять его контуры и, в частности, передвигать вверх плунжер 10, то кольцевое пространство будет свободно и масло из полости 5 будет поступать в бак. Однако из-за разности площади сечений поршня в обеих полостях (в 2 раза) сила, действующая на дно цилиндра в полости 2, будет соответственно вдвое превышать силу, возникающую в полости 5, в результате чего весь цилиндр будет отодвигаться вместе с резцедержателем от обрабатываемой поверхности. При опускании плунжера 10 вниз кольцевое пространство будет закрыто буртиком плунжера и соответственно будет прекращен доступ масла из полости 5 в бак, и давление в полостях 2 и 5 будет выравнено. Цилиндр вместе с резцом переместится по направлению к детали, т. е. давление в полости 2 больше давления в полости 5.

Вследствие того, что обработка с гидрокопировальным механизмом ведется при стабильной продольной подаче, движения цилиндра с резцедержателем обеспечивают повторение контура копир-шаблона, т. е. получение обработанной поверхности требуемого профиля.

При движении шупа 9 по горизонтальной поверхности давление в полостях 2 и 5 цилиндра выравнивается, тем самым фиксируется положение цилиндра с резцедержателем и обеспечивается получение цилиндрической поверхности.

Весьма эффективно применение гидрокопировальных механизмов при групповой обработке валов. В этом случае используется специальное устройство, называемое барабанным копиром, конструкция которого представляет собою цилиндрический барабан, имеющий радиальные пазы. В пазы барабанного копира плотно закладывают плоские копиры заданных очертаний. В данных условиях не требуется переналадка оборудования при обработке группы валов, а производится лишь простая подналадка барабанного копира.

Производительным методом обработки валов, особенно в крупносерийном производстве, является многолезцовое обтачивание на токарных полуавтоматах. При таком методе обработки применяют последовательное, параллельное и смешанное обтачивание поверхностей. Наиболее экономичным по времени является параллельное обтачивание, предусматривающее одновременную обработку различных поверхностей, т. е. совмещение переходов и многолезцовую обработку различных участков одной и той же поверхности.

Схемы, приведенные на рис. 64, иллюстрируют различные варианты параллельной обработки. На рис. 64, а показан метод косого врезания резцов на величину глубины резания с последующим перемещением посредством продольной подачи.

При различной длине обрабатываемых участков вала резцы вступают в контакт с деталью не одновременно. Следует отметить, что по этой схеме в определенное время на один резец приходится снятие всего припуска, вследствие чего общая сила резания окажется значительно большей, чем при работе по схеме (рис. 64, б), где резцы работают последовательно под действием продольной подачи. Машинное время на обработку во вто-

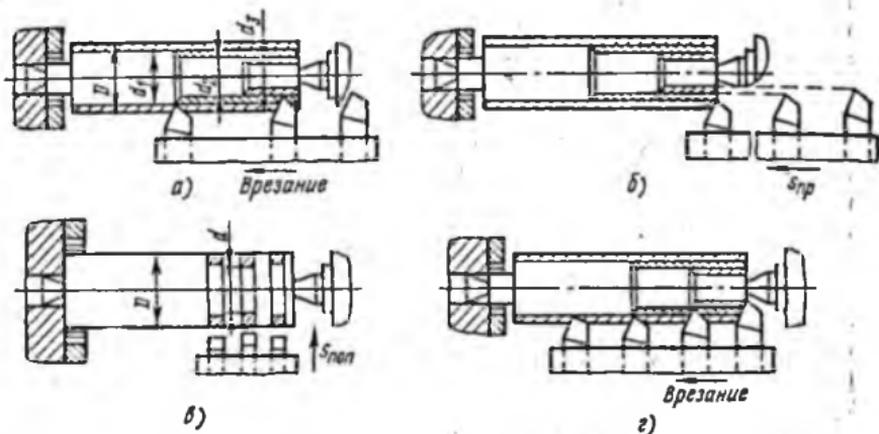


Рис. 64. Обработка валов на станках с многорезцовыми головками

ром случае будет больше, чем в первом. Применять обработку по первому методу (см. рис. 64, а) возможно лишь при достаточной жесткости заготовок, а по второму (см. рис. 64, б) — при меньшей их жесткости.

Метод, показанный на рис. 64, в, имеет место при необходимости применения поперечной подачи для обработки шеек валов длиной до 20 мм, а также торцов и уступов.

Пример совершенствования метода многоинструментальной обработки приведен на рис. 64, г, где дополнительный резец установлен для параллельной обработки одной и той же самой длинной поверхности, чем сокращается длина продольного перемещения суппорта и уменьшается время обработки детали. Наиболее целесообразно использование этой схемы при обработке жестких валов со ступенями, длины которых кратны друг другу. При обработке фасонных поверхностей (конусных, многоступенчатых, криволинейных и т. п.) целесообразно использовать копировальные устройства.

Однако необходимо учесть, что применение токарных полуавтоматов будет выгодно здесь лишь при массовом или крупносерийном производстве. В остальных случаях вполне оправданным будет использование гидрокopировальных устройств в универсальном оборудовании.

Все чаще детали, в частности валы, обрабатывают на станках с программным управлением. Следует, однако, предварительно оценить эффективность такой обработки. Эту оценку производят путем сравнения себестоимости обработки на универсальном станке C_y с себестоимостью обработки на автоматизированном станке C_a с программным управлением:

$$E = C_y - C_a > 0,$$

$$C_y = \left(t_{шаа} + \frac{t_{п.аа}}{n} \right) (b_y + z_y) + (C_{н.у} + C_{п.у});$$

$$C_a = \left(t_{шба} + \frac{t_{п.ба}}{n} \right) \left(b_a + \frac{z_a}{p} \right) + C_{н.а} + C_{п.а} + \frac{C_T}{N},$$

где $t_{шаа}$, $t_{шба}$ — штучное время на обработку детали для разных вариантов обработки, мин; $t_{п.аа}$; $t_{п.ба}$ — подготовительно-заключительное время для разных вариантов, мин; n — размер партии деталей, шт; b — себестоимость станкоминуты, в том числе текущего ремонта и амортизационных отчислений, коп.; z — размер заработной платы рабочего, коп/мин; p — число станков, управляемых одним рабочим; $C_{н.у}$, $C_{н.а}$ — расходы по эксплуатации режущих инструментов, коп.; $C_{п.у}$ и $C_{п.а}$ — остальные накладные расходы, связанные с работой оборудования, приходящиеся на данную операцию, коп.; C_T — затраты на разработку и материализацию программы (перфоленты) для операции, выполняемой автоматизированным способом; N — общее число деталей, изготавливаемых по одной перфоленте.

Окончательный выбор варианта оборудования следует делать, принимая во внимание кроме положений, изложенных выше, сравнительную характеристику оборудования по производительности.

Шлифование валов. После чистовой обработки резцами валы подвергают дальнейшей обработке методом шлифования, а при необходимости их работы в узлах трения — методом накатки.

Шлифование производят двумя методами: обработкой в центрах и бесцентровым. Метод обработки в центрах имеет такие разновидности: шлифование с применением продольной подачи, шлифование с поперечной подачей и глубинное шлифование.

На рис. 65, а показан способ шлифования с продольной подачей, при котором шлифовальный круг, производя обработку крупных валов, обычно перемещается в направлении оси детали. Продольная подача при этом способе

$$s_{пр} = s_4 B,$$

где s_4 — коэффициент чистоты, для черного шлифования $s_4 = 0,6 \div 0,85$; для чистового $s_4 = 0,2 \div 0,4$; B — ширина шлифовального круга.

Поперечную подачу $s_{\text{поп}}$ выбирают равной глубине резания t , обычно $s_{\text{поп}} = 0,005 \div 0,08$ мм на один двойной ход.

Для получения малой шероховатости поверхности последние проходы осуществляют без поперечной подачи (с выхаживанием). Если шлифуемые поверхности не превышают ширины шлифовального круга, то целесообразно применять обработку с поперечной подачей (рис. 65, б), которая значительно производи-

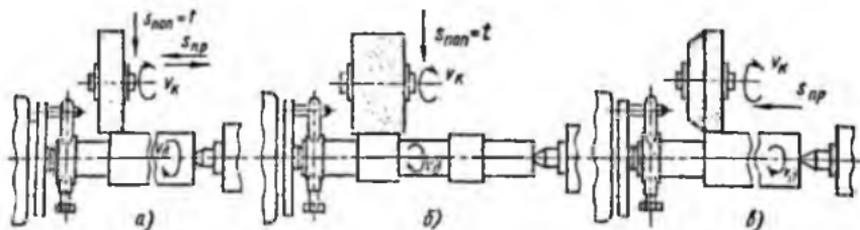


Рис. 65. Способы шлифования валов

тельнее обработки с продольной подачей. В этих случаях применяют шлифовальные круги шириной до 300 мм, а поперечная подача на один оборот детали $s_{\text{поп}} = 0,01 \div 0,02$ мм — для черного и $s_{\text{поп}} = 0,002 \div 0,08$ мм — для чистового шлифования.

При глубинном шлифовании (рис. 65, в) шлифовальный круг за один проход снимает заданный слой материала детали при снижении величин продольных подач. Для уменьшения силы резания шлифовальный круг имеет заборный конус длиной 6—15 мм. При этом процессе резания обычно глубина резания $t = 0,1 \div 0,3$ мм, продольная подача $s_{\text{пр}} = 1 \div 4$ мм/об. Этот способ применяют для обработки жестких и коротких валов. При всех описанных способах шлифования скорость резания $v_{\text{ш}} = 50$ м/с, а частота вращения детали $n_{\text{д}} = 15 \div 25$ м/мин.

Для обеспечения требуемого качества шлифованной поверхности большое значение имеет правильный выбор размеров и материала шлифовального круга. В частности, при обработке стальных валов с шероховатостью $Ra = 1,25$ мкм, твердостью $HV 230-260$ следует применять шлифовальные круги плоские прямого профиля или с выточкой из электрокорунда зернистостью 40—25 средней мягкости на керамической связке.

В крупносерийном и массовом производствах высокую эффективность дает метод бесцентрового шлифования гладких и ступенчатых валов, схема которого приведена на рис. 66, где шлифующим является круг 1, а ведущим — круг 2, который вращает деталь 3, установленную на опоре 4. Ведущий круг повернут относительно рабочего круга на угол α , для черного шлифования $\alpha = 2 \div 5^\circ$, а для чистового $\alpha = 1 \div 2^\circ$. В этом случае

величина продольной подачи зависит от скорости ведущего круга v_k и угла α

$$s_{пр} = \frac{v_k \sin \alpha \mu}{n_d},$$

где v_k — скорость ведущего круга; μ — коэффициент, учитывающий проскальзывание вала относительно ведущего круга и составляющий величину 0,85—0,9; n_d — частота вращения шлифующей детали, определяемая из условия равенства окружных скоростей ведущего круга и шлифуемой детали, мин.

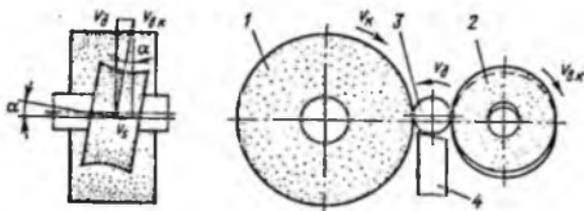


Рис. 66. Бесцентровое шлифование валов

Ведущий круг рекомендуется изготовлять из электрокорунда на вулканитовой и бакелитовой связке, зернистостью 8—16, твердостью СТ2 или Т2 (СТ — круги средней твердости, Т — твердые).

При бесцентровом шлифовании максимальная глубина резания составляет 0,1—0,2 мм. При наличии ступенчатой поверхности применяют шлифование с продольной подачей до упора или путем врезания рабочего шлифовального круга поперечной подачей.

Обработку тел вращения на револьверных станках применяют в серийном производстве. В качестве заготовок могут быть отливки, штамповки и прокат. Экономически оправдано применение револьверных станков в тех случаях, когда поверхности требуется обрабатывать обтачиванием, растачиванием, сверлением, зенкерованием, нарезанием резьбы по параллельной и последовательной схемам. В этих случаях используется одновременно несколько инструментов, что значительно сокращает цикл обработки.

Необходимо принимать во внимание, что обработка на револьверных станках связана со снижением жесткости технологической системы по сравнению с обработкой на токарных станках и требует сложной наладки станка. Револьверные головки бывают с вертикальной и горизонтальной осью вращения. При обработке деталей из пруткового материала (проката) шпин-

дель револьверного станка оснащают специальным механизмом крепления и подачи материала.

Револьверные головки с вертикальной осью вращения обычно выполняют шестигранными, на каждой грани расположены гнезда для режущих инструментов. Такие станки имеют обычно один поперечный передний или два (передний и задний) суппорта. Задний суппорт используют для прорезки канавок, подрезки опорных поверхностей, отрезки. Передний суппорт используют так же, как и суппорт токарного станка, за исключением возможности выполнять резьбонарезание. Нарезание резьбы на револьверном станке можно производить только специальными инструментами (метчиками, плашками).

Револьверные головки с горизонтальной осью вращения имеют обычно 12—16 гнезд для режущего инструмента и способны перемещаться периодически и непрерывно. Во втором случае возможно выполнение таких работ, как подрезание, прорезание канавок, отрезка. Очевидно, что станки с такими головками рационально использовать для обработки деталей со значительным числом переходов, требующих поперечной подачи режущих инструментов.

Использование револьверных станков может быть более рациональным при совмещении по времени переходов обработки детали. Например, в один переход можно совместить растачивание центрального ступенчатого отверстия и обтачивание нескольких наружных поверхностей, сверление совместить с обработкой наружной поверхности и т. д.

Обработка конических поверхностей. Конические поверхности детали машин имеют разновидности, в зависимости от которых и применяют различные методы их обработки. Если длина образующих конуса не превышает 20 мм, их обрабатывают широким резцом, режущее лезвие которого устанавливают под соответствующим углом к оси конуса.

Конические поверхности можно обрабатывать путем поворота салазок суппорта токарного станка на требуемый угол. Величина поворота

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D-d}{2l},$$

где α — угол поворота салазок суппорта, являющийся одновременно половиной угла при вершине конуса; D — диаметр большей окружности конуса; d — диаметр меньшей окружности конуса; l — длина конуса.

Указанным способом обрабатывают преимущественно поверхности сравнительно небольшой длины, но с любыми углами конусов. При необходимости обработки конусов с небольшими углами применяют метод, предусматривающий поперечное смещение задней бабки. В этом случае необходимо определить вели-

чину требуемого смещения, которую рассчитывают по одной из следующих формул:

$$s_6 = \frac{L}{l} \left(\frac{D-d}{2} \right); \quad s_6 = L \sin \alpha; \quad s_6 = \frac{LK}{2}; \quad s_6 = L \operatorname{tg} \alpha,$$

где L — длина всей детали, на которой расположен конус длиной l ; K — конусность, т. е. величина $\frac{D-d}{l}$.

Конусные поверхности обрабатывают также с помощью конусной линейки. Наиболее универсальным является метод обработки конических поверхностей с применением копировальных устройств.

Обработка на токарно-карусельных и лобо-токарных станках. Крупные детали, имеющие диаметр 500—700 мм, обрабатывают на токарно-карусельных станках. Такими размерами в основном исчерпываются габаритные размеры деталей, используемых в строительном и дорожном машиностроении. Известно, что токарно-карусельные станки имеют вращающиеся столы-планшайбы и оснащены боковым и вертикальным суппортами, способными вести обработку одновременно четырьмя-пятью режущими инструментами. Столы-планшайбы имеют до 36 скоростей вращения.

Лобо-токарные станки применяют преимущественно в единичном производстве. Их выпускают двух модификаций — с суппортами, установленными отдельно от станины станка, и суппортами, установленными на станке. Токарно-лобовые станки применяют главным образом при обработке деталей больших размеров, для чего используют планшайбы диаметром до 4000 мм с частотой вращения 17—20 об/мин.

§ 4. ФИНИШНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

К некоторым деталям строительных и дорожных машин предъявляют такие требования по качеству изготовления, выполнение которых возможно только с помощью финишных (отделочных) операций: притирки, хонингования и тонкой доводки, называемой суперфинишем. В качестве материала для изготовления притирочных инструментов применяют чугуны, цветные сплавы, полимерные материалы, стекло и т. п. Процесс притирки заключается в воздействии специального абразивного материала на обрабатываемую поверхность с помощью притира. Для притирки применяют следующие абразивные материалы: корунд естественный, электрокорунд, карбид кремния, окись хрома, карбид бора, алмазный порошок и др.

Выбор размера зерен абразива производят в зависимости от требований к обрабатываемой поверхности. Существуют следующие способы притирки поверхностей: притирка свободным абразивом, который в процессе обработки внедряется в сравни-

тельно мягкий материал инструмента; притирка абразивом, предварительно внедренным в поверхность инструмента; притирка относительно мягкими абразивными материалами — венской известью, окисью хрома, пастой ГОИ.

Во всех случаях применяют смазку керосином, бензином и машинным маслом, производящими, кроме того, очистку притираемой поверхности от окислов и загрязнений. Припуски на притирку обычно бывают 0,025—0,05 мм на сторону. Притирку можно производить либо на специальном притирочном оборудовании, либо на универсальном оборудовании с применением соответствующей оснастки, либо вручную. Выбор способов притирки определяется типом производства и требованиями к поверхности детали. Притиркой достигается 6-й квалитет точности и шероховатость $Ra=0,160$ мкм.

Другой разновидностью финишных операций является хонингование, заключающееся в воздействии на обрабатываемую поверхность специальными брусками. Хонингованием можно обрабатывать шейки валов, поверхности отверстий, зубья шестерен и т. п. В большинстве случаев при хонинговании требуется специальная оснастка. В частности, при обработке шеек валов используют приспособление, состоящее из двух разжимных скоб, оснащенных двумя брусками каждая. В процессе хонингования скобы зажимают обрабатываемую поверхность и доводят ее в процессе обработки до требуемых размеров. Хонинговальные бруски обычно изготавливают из карбида кремния зернистостью 12—30. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости применяют водно-мыльные растворы, а также керосин.

Тонкую доводку (суперфиниш) выполняют абразивными брусками или абразивными кругами. Инструмент обычно совершает колебательное возвратно-поступательное движение с частотой 200—1000 колебаний в минуту при малой амплитуде 2—6 мм и при движении заготовки со скоростью 0,05—2,5 м/с. При обработке суперфинишем достигают 6-й квалитет точности и шероховатость $Ra=0,040\div 0,010$ мкм.

§ 5. ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ

Методами обработки отверстий в машиностроении являются: сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, протягивание, дорнование. Отверстия 12—14-го квалитетов точности обычно обрабатываются за один рабочий ход — сверлением или черновым растачиванием. При необходимости получения 7—8-го квалитетов точности вводят дополнительно чистовые и отделочные операции.

Сверление. Сверла выпускают двух разновидностей — левые и правые, названия которых характеризуют направление спиральных канавок. Левые сверла, имеющие диаметр 0,25—20 мм и цилиндрический хвостовик, используют на токарных

автоматах. Правые сверла с цилиндрическими хвостовиками выпускают большой длины диаметром 2—20 мм и короткими диаметром 0,25—20 мм.

Для работы на сверлильных станках сверла выпускают с коническими хвостовиками, удлиненными — диаметром 6—30 мм и короткими — диаметром 6—80 мм. Кроме того, инструментальная промышленность изготавливает сверла диаметром 0,1—1,0 мм с утолщенным хвостовиком. При обработке больших отверстий диаметром 35—40 мм рекомендуется сверлить последовательно двумя сверлами. Первое сверло должно иметь диаметр, составляющий 0,5—0,6 от диаметра второго. Такой метод обработки необходим в связи с наличием у сверл перемычки при вершине, вызывающей в работе большие осевые усилия.

Эффективно применение сверл конструкции В. И. Жирова, в которых перемычка при вершине устранена путем проточки в ней паза шириной 1,5—2,5 мм и глубиной 2 мм. Это сверло имеет три пары режущих кромок, определяемых углами при вершине: $2\varphi = 118^\circ$, $2\varphi_1 = 70^\circ$ и $2\varphi_2 = 50^\circ$. Такая конструкция сверла позволяет в значительной мере уменьшить осевые и окружные силы при сверлении, что повышает стойкость инструмента в 2—3 раза.

Выбор режимов резания при сверлении имеет также большое значение для повышения стойкости инструмента. В частности, при сверлении отверстий малых диаметров в пределах 6—8 мм рекомендуется работать с малыми подачами и повышенными скоростями резания.

Для получения отверстий диаметром 60—70 мм весьма эффективным является так называемое кольцевое сверление. Сверло для кольцевого сверления в процессе работы вырезает по периферии отверстия узкую канавку, отчего в результате сверления образуется цилиндрический сердечник, который по окончании обработки свободно извлекается из детали. Эти сердечники могут быть использованы для нужд производства в качестве заготовок деталей.

Операцию сверления можно выполнять как на сверлильных, так и на токарных станках. При выборе оборудования необходимо учитывать следующие особенности: при работе на станках токарной группы, когда вращается деталь, отклонение от оси сверления будет меньше, чем при работе на сверлильных станках, где вращение сообщается инструменту; использование сверлильных станков имеет свои преимущества, заключающиеся, в частности, в отсутствии необходимости балансировать детали типа тел вращения, что обязательно делать при работе на станках токарной группы; при работе на станках токарной группы операция сверления должна предшествовать зацентровке отверстия детали.

Если имеются требования к точности межцентровых расстояний отверстий, то необходимо проанализировать, можно ли обе-

печивать требования при свободном сверлении или следует вести обработку в кондукторе. В первом случае точность лежит в пределах $\pm(0,2-0,5)$ мм, а во втором — $(\pm 0,06-0,20)$ мм (обычный кондуктор) и $\pm(0,04-0,10)$ мм (прецизионный). Одноразмерные кондукторы применяют в массовом и крупносерийном производствах, а групповые или универсальные, оснащенные сменными элементами, — в мелкосерийном и единичном.

Большое распространение получили в настоящее время многошпиндельные сверлильные станки, а также агрегатные многошпиндельные сверлильные головки. Они во много раз повышают производительность сверления, обеспечивают необходимую точность межцентровых расстояний и требуемые осевые направления отверстий.

В условиях серийного производства применение агрегатных головок с регулируемым расстоянием между шпинделями является в достаточной мере эффективным. Сверление многошпиндельными устройствами не исключает возможность расположения отверстий на различных уровнях и его можно применять при необходимости одновременной обработки отверстий в разных деталях, закрепленных в определенном порядке на столе станка с помощью специальных приспособлений.

Зенкерование. Обработка отверстий зенкерованием имеет широкие технологические возможности. Целесообразно зенкеровать отверстия, полученные предварительно сверлением или в заготовках литьем, штамповкой и т. д. Зенкерованием получают отверстия точностью до 11-го качества и шероховатостью до $Ra = 2,5$ мкм. Если требуются более высокие показатели точности и шероховатости, то после зенкерования применяют разветывание, протягивание, дорнование, шлифование и другие методы обработки, обеспечивающие выполнение технических требований на обработку. Кроме того, зенкерованием можно производить обработку фасок, углублений под головки болтов, заклепок и т. п.

Разнообразие работ, выполняемых зенкерованием, вызывает необходимость иметь зенкера самых различных конструкций и размеров. По форме режущей части зенкера подразделяют на цилиндрические, конические и спиральные. Спиральные зенкера применяют для зенкерования цилиндрических сквозных отверстий, причем для отверстий диаметром 12—35 мм изготавливают зенкеры с коническим хвостовиком и тремя режущими кромками; для отверстий диаметром 35—80 мм — насадной конструкции с четырьмя—шестью режущими кромками; для отверстий диаметром 60—175 мм выпускают зенкера насадными, со вставными рифлеными жожами, армированными твердосплавными пластинами.

Особой конструкцией являются зенкера-улитки, имеющие две режущие кромки. Их применяют для обработки отверстий

диаметром до 200 мм. Конические зенкера служат для обработки конических отверстий, причем, как правило, предварительно просверленное отверстие может быть цилиндрической формы. Цилиндрические зенкера используют для торцования поверхностей и обработки гнезд под болты, заклепки, шурупы.

Процесс зенкерования применяют в основном там, где нужно обеспечить не только точность размера и шероховатость, но и прямолинейность оси отверстия, межцентровые расстояния между отверстиями и более высокую производительность обработки. Этот процесс довольно производителен.

При неравномерных припусках на отверстия, особенно в отливках и штамповках, возможно отклонение зенкеров от осей деталей во время обработки. В этих случаях следует использовать кондукторы, втулки которых обеспечивают зенкеру точное направление, а в конструкции самого зенкера предусматривать специальные цилиндрические направляющие (вверху, внизу или с обеих сторон инструмента), которые входят во время работы в кондукторные втулки.

Зенкерование осуществляется на сверлильных, токарных, револьверных, расточных, вертикально-фрезерных и карусельных станках в зависимости от габаритов детали и диаметров отверстий.

Развертывание относится к заключительным операциям, выполняемым после сверления, зенкерования и растачивания отверстий. Развертыванием могут быть обработаны цилиндрические, конические и ступенчатые отверстия диаметром до 400 мм по 7—6-му квалитетам точности с шероховатостью $Ra=5,0 \div \pm 0,32$ мкм.

Развертки подразделяют на ручные диаметром 3—50 мм; машинные диаметром 25—80 мм с цилиндрическими и коническими хвостовиками; машинные диаметром 40—100 мм со вставными регулируемыми жогами; машинные диаметром 52—300 мм насадные твердосплавные.

Процесс развертывания имеет свои особенности, сводящиеся в основном к следующему: обработка происходит при малых глубинах резания; возникают большие радиальные усилия при незначительных осевых усилиях; развертки направляются по осям предварительно обработанных отверстий. Эти особенности развертывания вынуждают создавать специальную оснастку и, в частности, самоустанавливающиеся патроны (качающиеся и плавающие).

Хвостовик качающегося патрона, шарнирно закрепленного в специальной втулке (рис. 67, а), имеет коническую поверхность, в которой крепится развертка. В плавающем патроне (рис. 67, б) в оправку 6 вставляют конусный хвостовик развертки. Эта оправка входит во втулку 5, опирающуюся на шарикоподшипник 2. Хвостовик 1 вращает оправку 6 поводком 3 с четырьмя шариками 4.

Самоустанавливающийся патрон (рис. 67, в) обеспечивает возможность покачивания и перемещения развертки параллельно своей оси. Поводок 4 связан с хвостовиком 1 и оправкой 7 с помощью шестигранных головок, имеющих с обоих концов, которые сдвинуты относительно друг друга на 30°. Пружина 2 фиксирует взаимное расположение корпуса 3, оправки 7 и по-

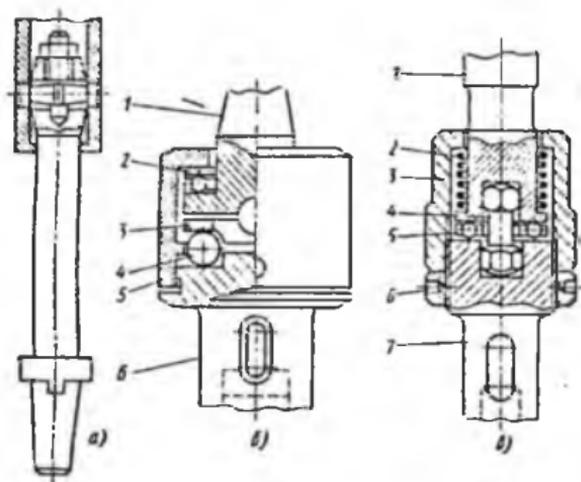


Рис. 67. Патроны для разверток

водка 4. Между оправкой 7 и хвостовиком 1 помещен упорный шарикоподшипник 5. Гайка 6 необходима для регулирования положения патрона на оси. Поводок 5 имеет сферические торцы, позволяющие наклонять оправку под углом.

Отверстия 7—8-го квалитетов точности обрабатывают за один проход развертки, а 6—7-го квалитетов — за два прохода. При развертывании отверстий диаметром 6—120 мм припуск должен составлять 0,2—0,4 мм, причем на черновое развертывание должно приходиться до 80% этого припуска. При развертывании необходимо применять смазочно-охлаждающие жидкости. Стойкость разверток сравнительно невелика (до 500 отверстий), поэтому их применение оправдывается только в мелкосерийном и единичном производствах.

Растачивание — универсальный метод обработки отверстий, различных по размерам и форме. Его можно выполнять на токарных, револьверных, расточных, карусельных, многошпиндельных, агрегатных станках. Для выполнения этой операции применяют специальные расточные резцы, изготовленные либо из быстрорежущей стали, либо армированные твердыми сплавами. Для тонкого растачивания используют алмазный инструмент.

Сквозные отверстия диаметром 100—150 мм (рис. 68, а) растачивают резцами, имеющими главный угол в плане $\varphi = 45^\circ$. Сту-

печатые и глухие отверстия (рис. 68, б—г) обрабатывают как с продольной (рис. 68, г), так и с поперечной (рис. 68, в) подачами. При продольной подаче вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 5^\circ$. Отверстия диаметром более 150 мм растачивают резцами с помощью специальных державок (рис. 68, д, е), причем при обработке сквозных отверстий резец устанавливают под уг-

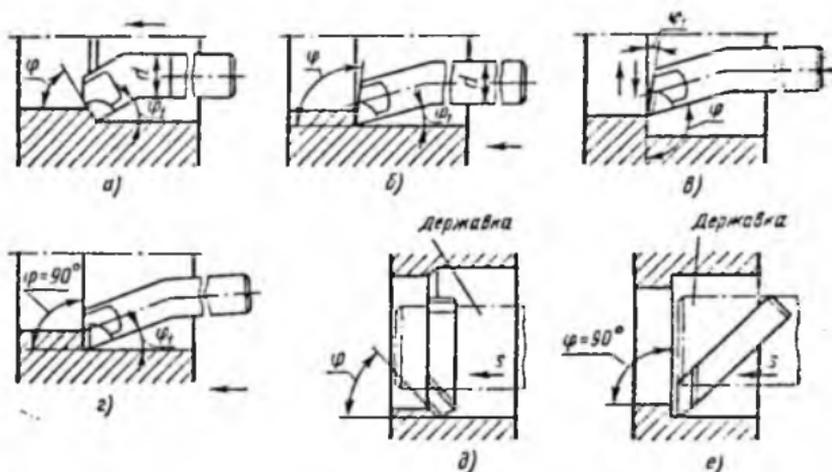


Рис. 68. Растачивание отверстий

лом 90° к оси державки (рис. 68, д), а при обработке ступенчатых и глухих отверстий — под углом $45-60^\circ$ (рис. 68, е).

В серийном производстве растачивание отверстий целесообразно производить методом многолезвовой обработки (рис. 69). Припуск на растачивание снимается двумя резцами, причем для равномерного распределения силы резания они расположены относительно друг друга под соответствующим углом.

Многолезвовое растачивание целесообразно производить с помощью специального расточного блока (рис. 70). В корпусе 1 расточного блока имеются пазы, в которые устанавливают резцы 2 и 4, закрепленные винтами 3. Крепление резцов позволяет устанавливать их на требуемый диаметр как черновой (d_1, d_2), так и чистовой (d) обработки. Черновой припуск распределяется между резцами 4. Чистовые резцы 2 управляются микрометрическими винтами, которыми возможно производить их установку с точностью до 0,02 мм. Растачивание отверстий с помощью блоков отличается высокой производительностью и дает хорошие результаты по точности и шероховатости поверхности.

Выпускают более совершенные конструкции расточных блоков, например, с механическим креплением многогранных твердосплавных пластинок, комбинированный блок ЭНМСа, со-

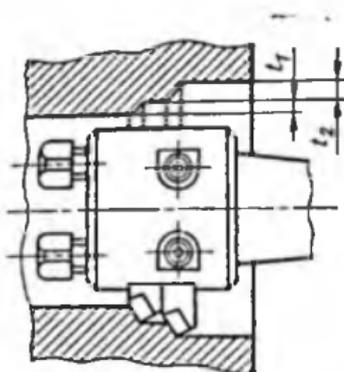


Рис. 69. Растачивание отверстий двумя резцами

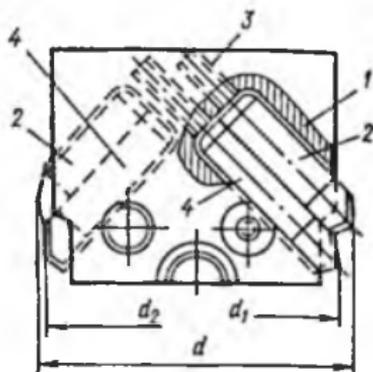


Рис. 70. Блок для растачивания

стоящий из нескольких частей и имеющий систему крепления резцов с помощью специальных рифлений, позволяющих сравнительно просто налаживать инструмент.

Чистовую обработку отверстий диаметром 25—600 мм кроме методов, изложенных выше, целесообразно производить также плавающими пластинами (рис. 71). Пластина 1, заложенная в паз державки 2, может перемещаться в радиальном направлении, так как винт 3 входит в эллиптическое отверстие державки.

Растачивание с применением блоков или плавающих пластин обеспечивает получение отверстий 7-го качества шероховатостью $Ra=1,25$ мкм. На горизонтально-расточных станках обрабатывают отверстия с помощью консольной оправки (рис. 72, а) борштанги, закрепленной одним концом в центре, а другим — в задней стойке станка (рис. 72, б) борштанги, один конец которой шарнирно соединен со шпинделем станка, а другой находится во втулке кондуктора, закрепленной в специальной кронштейне (рис. 72, в).

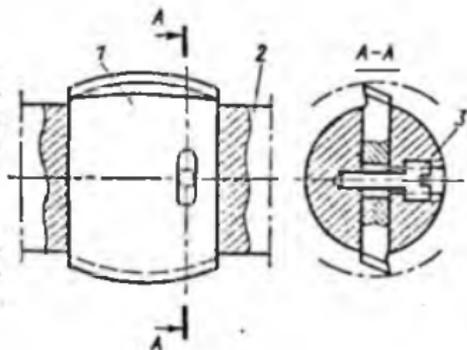


Рис. 71. Плавающая пластина

При растачивании отверстий, в подавляющем большинстве случаев, необходимо соблюдение межцентровых расстояний. Это в первую очередь относится к корпусным деталям, где отверстия в основном служат опорами валов, осей, т. е. деталей,

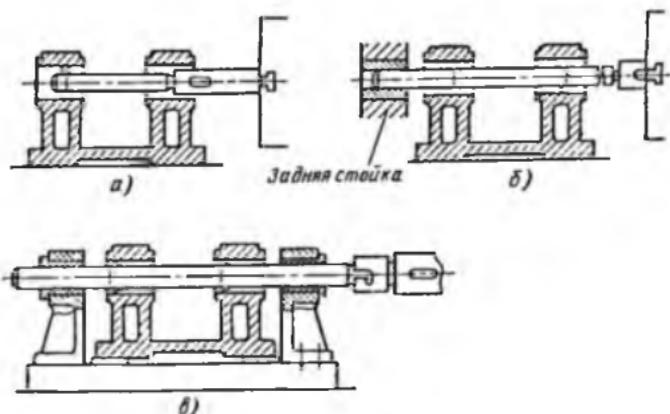


Рис. 72. Варианты расположения оправок при работе на расточных станках

определяющих правильность монтажа и последующей работы главных механизмов машины. Для обеспечения этих требований применяют растачивание с использованием мерных оправок координатным способом и на многшпиндельных станках. Пер-

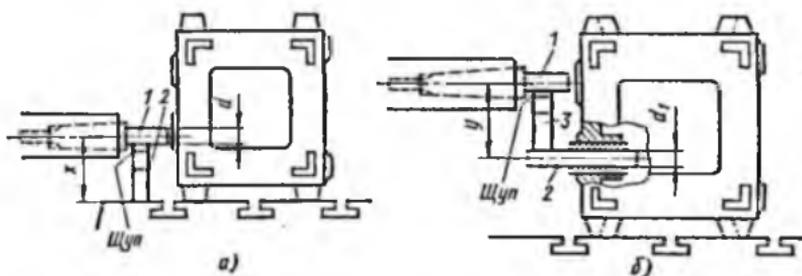


Рис. 73. Схема растачивания с помощью мерных оправок

вый способ применяют главным образом в единичном и мелкосерийном производствах, второй — в серийном и третий — в крупносерийном и массовом производствах.

Растачивание первого (базового) отверстия с использованием мерных оправок ведется по схеме, приведенной на рис. 73, а, а второго и последующих — по схеме на рис. 73, б. Оправка 1 в месте соприкосновения с опорой 2 должна быть прокалибро-

вана. Соблюдение требуемого размера x обеспечивается блоком концевых мер. При калиброванном диаметре d оправки размер блока концевых мер

$$C = x - \frac{d}{2}$$

Второе отверстие, расположенное на расстоянии y от первого (рис. 73, б), растачивают после предварительной установки шпинделя с помощью оправок A , B и блока концевых мер $З$,

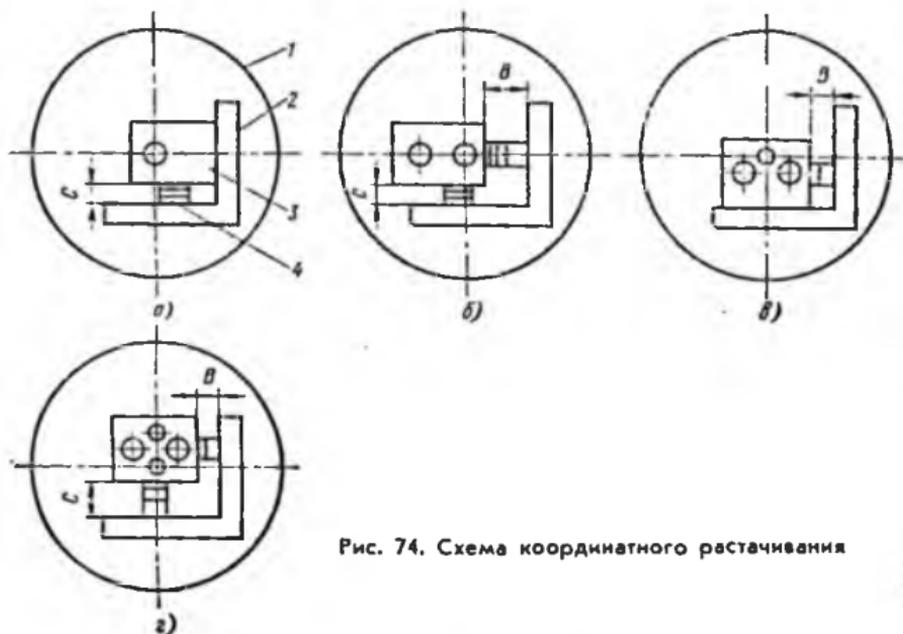


Рис. 74. Схема координатного растачивания

измеряющего расстояние между первым расточенным отверстием и шпинделем. Размер блока концевых мер

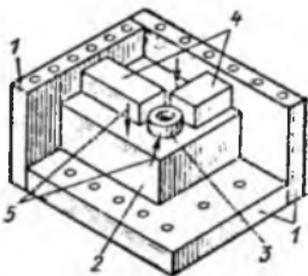
$$C_1 = y - \frac{d}{2} - \frac{d_1}{2}$$

где d и d_1 — диаметры оправок 1 и 2.

При обработке обоих отверстий с одной стороны и посадке без зазора оправки 2 в отверстия их соосность может быть обеспечена с точностью до $\pm 0,02$ мм. Последующие отверстия обрабатывают аналогично, причем за базовое принимают то, которое для данного способа является наиболее подходящим по своему расположению.

Более прогрессивным методом обработки нескольких отверстий является метод координатного растачивания (рис. 74, а). Деталь 3 устанавливают на планшайбе 1, например, токарного станка, причем базовая поверхность детали соприкасается со

Рис. 75. Растачивание отверстий с применением плит и концевых мер



стороной контрольного угольника 2. Второй установочной плоскостью детали 3 является поверхность, расположенная под углом 90° к базовой. Расстояние от второй плоскости до второй стороны контрольного угольника определяется блоком концевых мер 4 и должно составлять величину S . После указанной установки растачивают первое отверстие.

Для обработки последующих отверстий деталь 3 перемещают в нужном направлении и устанавливают по второму блоку концевых мер на размер B (рис. 74, б). На рис. 74, в, г показаны примеры схем установок детали при различных координатах отверстий, причем при необходимости используют блоки концевых мер с одной или с обеих сторон.

Дальнейшее совершенствование координатного метода растачивания возможно при использовании универсального координатного приспособления (рис. 75). Деталь 2 при установке соприкасается базовыми поверхностями с тремя плитами 1, установленными взаимно перпендикулярно. Отверстие растачивают через кондукторную втулку 3, фиксируемую блоками концевых мер 4. Втулку и блок концевых мер крепят прижимами 5. Для растачивания отверстий применяют в основном горизонтально-расточные станки. В частности, станки 2Д620 и 2А622МФ2 оснащены оптическими устройствами для отсчета размеров установки шпинделя и стола с точностью $\pm 0,02$ мм. Станок 2611ПМФ4 имеет программное управление, позволяющее автоматически устанавливать стол и шпиндель в заданных координатах.

Самым совершенным способом координатного растачивания отверстий является обработка их на координатно-расточных станках, имеющих индуктивные и оптические отсчетно-измерительные устройства, обеспечивающие наиболее точные измерения и устраняющие опасность износа этих систем из-за отсутствия непосредственных сопряжений их элементов. Достижимая точность обработки на этих станках составляет до 0,002 мм.

Обработка отверстий на агрегатных станках. В крупносерийном и массовом производствах кроме координатных методов обработки отверстий широко используют методы с применением агрегатных станков, причем кроме специализированных станков можно использовать и универсальные (сверлильные, токарные, расточные и т. п.) с оснащением агрегатными головками. Агрегатные головки имеют число рабочих шпинделей, соответ-

вующее числу отверстий. Кроме того, агрегатных головок может быть несколько и их расположение определяется конфигурацией обрабатываемой детали и расположением отверстий. Обработка отверстий с применением агрегатных головок может производиться одновременно с разных сторон.

Тонкое растачивание отверстий. Этот метод обработки отверстий выполняют с использованием специальных режимов и режущего инструмента. При обработке отверстий в деталях из чугуна скорости резания следует принимать $v=100\div 200$ м/мин, подачи $s=0,03\div 0,5$ мм/об, глубины резания $t=0,1\div 0,35$ мм. При растачивании отверстий в деталях из стали $v=120\div 250$ м/мин, $s=0,02\div 0,12$ мм/об, $t=0,1\div 0,3$ мм. При обработке деталей из цветных сплавов $v=800$ м/мин, $s=0,02\div 0,10$ мм/об, $t=0,05\div 0,4$ мм. При обработке деталей из черных металлов используют твердосплавные резцы, а при растачивании отверстий в деталях из цветных сплавов или из полимерных материалов — алмазные резцы.

Оборудование для тонкого растачивания должно быть особо точным и жестким, поэтому для этих целей используют расточные прецизионные станки одношпиндельные, многошпиндельные вертикальные и горизонтальные. Для алмазного растачивания выпускают специальные станки, например 2705В, 2706С и др. Тонкое растачивание обеспечивает получение отверстий по 6—7-му квалитетам точности с шероховатостью $Ra=0,32\div 0,160$ мкм.

Обработка отверстий протягиванием и дорнованием. Эти операции применяют главным образом для достижения высоких показателей точности и шероховатости поверхности. Кроме того, при дорновании и протягивании скругленными протяжками образуется уплотненный слой, обеспечивающий повышение износостойкости поверхности.

Рассматриваемыми методами можно обрабатывать отверстия по 6—9-му квалитетам точности с шероховатостью $Ra=1,25\div 0,160$ мкм. Применяют профильное, генераторное и прогрессивное протягивание. Профильный метод (рис. 76, а) заключается в срезании требуемого слоя металла последовательно

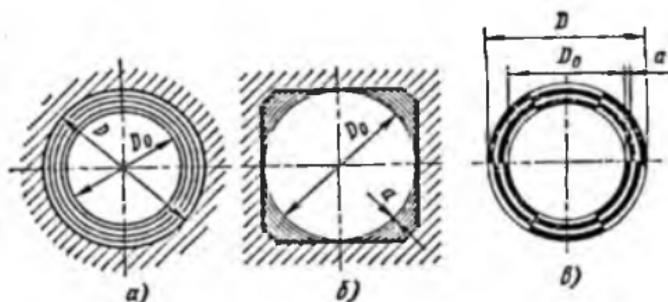


Рис. 76. Схемы протягивания

зубьями протяжки таким образом, что требуемый размер и профиль отверстия определяются последним зубом. При этом методе резание металла происходит при малых подачах на зуб протяжки, но при больших глубинах резания.

Генераторный метод (рис. 76, б) предусматривает обработку отверстий с профилем, не соответствующим предварительному, имеющемуся в заготовке детали. В частности, на схеме показано получение квадратного отверстия из круглого. Протяжки для такой обработки имеют зубья переменного профиля, плавно переходящего в требуемый на последнем зубе. Прогрессивный метод протягивания (рис. 76, в) осуществляют также специальными протяжками, но зубья их разбиты на группы, каждая из которых снимает определенный участок обрабатываемого профиля.

Расположение рабочих зубьев предусматривает перекрытие смежных участков. Указанный способ позволяет срезать за один рабочий ход значительно больше толщины металла, нежели при других способах, благодаря чему этот метод можно использовать при протягивании отверстий в отливках, штамповках и других заготовках. Протягиванием можно получать отверстия многих различных форм (круглые, квадратные, треугольные, многогранные, шлицевые и т. д.). Для обработки протягиванием используют горизонтальные и вертикальные протяжные станки. Для создания на поверхности уплотненного слоя применяют специальные протяжки, имеющие скругленные зубья.

В настоящее время широко применяют обработку отверстий методом дорнования, при котором используют дорны, представляющие собой инструменты сферических очертаний и производящие обработку по принципу давления. В зависимости от назначения и формы отверстий применяют несколько разновидностей дорнования.

Параметры точности, которые возможно получить дорнованием при обработке деталей строительных и дорожных машин, характеризуются следующими показателями: отверстия ступиц, зубчатых колес, катков, маховиков и т. п. (рис. 77, а) — точность 6—7-го квалитетов, шероховатость поверхности $Ra=0,32\div$

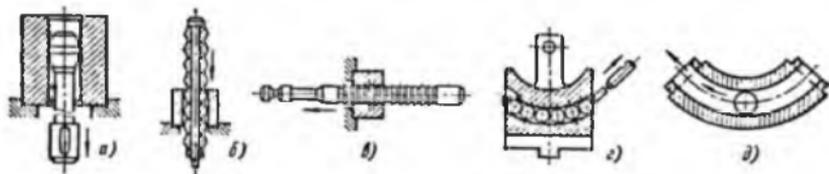


Рис. 77. Способы дорнования цилиндрических отверстий:

а — однозубым дорном; б — многозубыми дорнами, цельным и составным; в — комбинированным методом — дорном и протяжкой; г — составной протяжкой и гибком тресе; д — шариком

$\div 0,16$ мкм; гидравлические, пневматические цилиндры, корпусные детали гидравлических механизмов и т. д. (рис. 77, б) — точность по 7-му качеству, шероховатость $Ra=0,32\div 0,16$ мкм; гидравлические и пневматические цилиндры, втулки подшипников, отверстия ступиц колес, отверстия корпусных деталей и т. п. (рис. 77, в) — точность по 7-му качеству, шероховатость $Ra=0,63\div 0,32$ мкм; криволинейные отверстия деталей машин (рис. 77, г, д) — точность по 7—11-му качествам, шероховатость $Ra=1,25\div 0,32$ мкм.

Дорнованием можно обрабатывать отверстия самых различных форм, получая при этом хорошие результаты по упрочнению поверхностей. Широкое внедрение этого метода в дорожном и строительном машиностроении позволит в значительной мере повысить надежность работы машин. В первую очередь дорнование необходимо применять при обработке таких деталей, как гидроцилиндры экскаваторов и других машин, отверстий шестерен, катков, колес кранов, экскаваторов, ирригационных машин, скреперов, бульдозеров и т. п.

Обработка отверстий иглофрезерованием. Одним из наиболее прогрессивных процессов обработки отверстий в настоящее время является иглофрезерование. В нем сочетаются такие важные показатели, как высокая производительность обработки, упрочнение поверхности, высокие классы точности и шероховатости, простота конструкции и эксплуатации инструмента. Таким образом, процесс иглофрезерования является производительным и одновременно повышающим эксплуатационные параметры трущихся поверхностей, в первую очередь — износостойкость. Материалом для игл служит стальная пружинная проволока диаметром 0,2—1,0 мм (ГОСТ 9389—75). Нарезанные из такой проволоки иглы укладывают ровными радиальными пучками в нижнее кольцо *1* обоймы, находящейся в специальной матрице (рис. 78, а). На уложенные иглы накладывают

Таблица 10

Зависимость шероховатости обрабатываемой поверхности от параметров иглофрезы

Обрабатываемый материал	Параметр шероховатости обрабатываемой поверхности, мкм	Диаметр проволоки иглофрез, мм	Длина иглы, мм	Давление прессования, Н/см ²
Малоуглеродистая сталь	30 и более	0,5—0,9	18—22	700—1000
	10—30	0,5—0,6	14—18	600—800
	0,5—10	0,3—0,2	12—18	500—600
Легированная сталь	30 и более	0,6—0,9	14—18	800—1000
	10—30	0,5—0,6	14—16	700—900
	0,5—10	0,2—0,3	12—16	500—600

крышку 3, предварительно закрыв пучки крышкой 2 (рис. 78, б). После этого затягивают болты и прессуют пучки (рис. 78, в). Усилие прессования и размеры игл выбирают по табл. 10.

После прессования производят дополнительную затяжку болтов и приспособление с собранной иглофрезой передают на сварку. Сварку производят на специальном стенде (рис. 78, г).

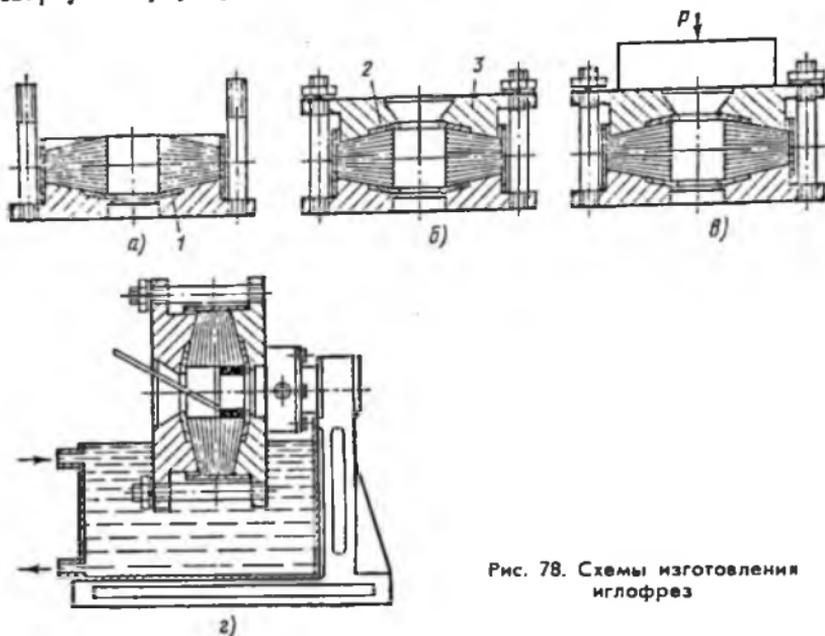


Рис. 78. Схемы изготовления иглофрез

имеющем бачок с проточной охлаждающей водой. Сварка необходима для соединения внутренних торцов игл между собой и с кольцами иглофрезы. После сварки иглофрезу извлекают из приспособления и в ней растачивают внутреннее отверстие диаметром, равным внутреннему диаметру кольца 1, а также шлифуют рабочие поверхности наружных торцов игл по диаметру. Режимы обработки выбирают по табл. 11.

Таблица 11

Режим обработки иглофрезами

Обрабатываемый материал	Глубина резания, мм	Подача, мм/мин	Скорость резания, м/с	Стоимость иглофрезы, р
Малоуглеродистая сталь	0,01—3,0	1000—350	1,0—1,8	200—300
Легированная сталь	0,2—1,0	250—350	1,0—1,2	100—300

Иглофрезы имеют достаточно широкий диапазон применения. Припуски на обработку могут быть от 0,01 до 3 мм на сторону. Способность иглофрез уплотнять обрабатываемые поверхности и простота изготовления позволяют рекомендовать их для обработки корпусов гидроцилиндров и других деталей строительных и дорожных машин.

§ 6. ОБРАБОТКА РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Резьбы в основном подразделяют на цилиндрические и конические. Цилиндрические резьбы в отечественной промышленности применяют в соответствии с ГОСТами, которыми предусмотрена метрическая система их измерений. Одновременно следует учесть, что одни и те же диаметры деталей могут иметь резьбы различных шагов (крупных и мелких). Допуски на резьбовые соединения в соответствии с ГОСТ 16093—70 при изготовлении деталей регламентируются степенями точности.

Специальные цилиндрические резьбы применяют в некоторых отраслях промышленности: трубная резьба мелкая, имеет закругленные впадины и измеряется в дюймах; трапецидальную резьбу применяют для передачи движения, она имеет увеличенное сечение; упорная резьба используется для передачи односторонних движений с наличием больших усилий, например в пресах; круглая резьба имеет усиленный профиль и предусматривает передачу больших динамических нагрузок; часовая резьба предназначена для изделий диаметром до 1 мм.

Специальные конические резьбы имеют применение в виде трубных резьб с закругленным профилем. Благодаря своим особенностям их используют для герметизации трубных стыков и не требуют дополнительных уплотняющих средств. В зависимости от назначения резьбовые соединения подразделяют на неподвижные и кинетические или ходовые.

Из приведенного краткого описания видов и назначений различного рода резьб следует, что изготовление резьбовых поверхностей требует значительно более точных приемов по сравнению с обработкой гладких поверхностей.

Рассмотрим основные способы нарезания резьбы. Самым старым способом является нарезание резьбы на токарном станке резцом, имеющим профиль впадин этой резьбы. Этот способ может быть рекомендован в мелкосерийном и единичном производствах, причем резьба здесь может быть выполнена как на наружных, так и на внутренних поверхностях. Для получения резьбы требуемого шага необходимо обеспечить автоматическое передвижение резца, закрепленного в суппорте, на величину шага резьбы, отнесенного к одному обороту детали.

При наличии станка, имеющего коробку передач, это осуществляется в соответствии с данными, приведенными в специальной таблице, имеющейся на станке. Если станок оснащен

лишь набором зубчатых колес и имеет сменные колеса, устанавливаемые в гитаре, то необходимо произвести специальную настройку. Следует иметь в виду, что в обоих случаях настройка системы подачи суппорта станка производится согласно требуемому передаточному отношению, соответствующему отношению шага нарезаемой резьбы к шагу резьбы ходового винта.

Передаточное отношение может быть выражено следующими зависимостями:

при шаге нарезаемой резьбы P_p

$$i = \frac{P_p}{P_{х.в.}}$$

где $P_{х.в.}$ — шаг ходового винта, мм;

при шаге нарезаемой резьбы, выраженном числом ниток на один дюйм n ,

$$i = \frac{127}{5n P_{х.в.}};$$

при шаге нарезаемой резьбы, выраженном модулем m ,

$$i = \frac{\pi m}{P_{х.в.}}$$

Эти формулы могут быть использованы при передаточном числе станка (между шпинделем и валком, несущим первое ведущее сменное колесо), равном единице, а при другом его значении вводятся соответствующие коррективы.

При нарезании торцевой спиральной резьбы передаточное отношение зубчатых колес

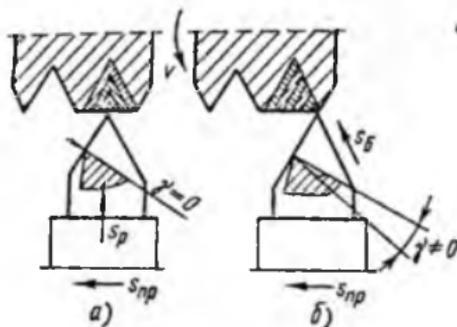
$$i = \frac{P}{i_n i_c P_v},$$

где i_n — передаточное число зубчатых колес между шпинделем станка и ходовым валком; i_c — передаточное число всех передач, расположенных в фартуке суппорта; P_v — шаг винта поперечной подачи суппорта.

При нарезании резьбы резцами применяют в основном два метода (рис. 79). Первый метод, приведенный на рис. 79, а, заключается в обработке с поперечной подачей резца s_p и последующем его перемещении в направлении продольной подачи $s_{пр}$, которая составляет величину, полученную в результате настройки станка по приведенным выше формулам. Для лучшего отделения стружки и сохранения режущих свойств инструмента перед каждым новым рабочим ходом производят смещение резца поочередно влево и вправо на величину 0,1—0,15 мм. Такой метод применяют в основном для резьб с шагом 2—2,5 мм.

Для получения резьб больших шагов используют схему нарезания, показанную на рис. 79, б, где черновое срезание слоев производится под углом, который равен половине угла профиля

Рис. 79. Нарезание резьбы
резцами



резьбы. Чистовое нарезание резьбы при этом производят по первому методу.

Для повышения производительности труда и качества обработки В. М. Бирюковым предложен метод нарезания резьбы одновременно

тремя резцами, причем последний из них является чистовым. При этом методе черновой резец имеет угол профиля 70° , второй резец 65° и чистовой 59° . В. К. Семинским разработано специальное приспособление, которое устанавливают на суппорте станка вместо обычного резцедержателя, оно автоматически отводит резец из зоны резания в концах участков нарезаемой резьбы. При нарезании трапецидальной или прямоугольной резьбы необходимо использовать резцы соответствующего профиля, причем при шаге до 4 мм профиль резца целиком соответствует профилю резьбы. При больших значениях шага процесс нарезания резьбы подразделяют на черновой и чистовой.

В условиях серийного производства при изготовлении деталей строительных и дорожных машин целесообразно нарезание трапецидальных резьб производить следующими способами.

Способ 1-й. Первым резцом с шириной режущего лезвия $a = b - 0,2$ мм, где b — ширина канавки по среднему диаметру, прорезают канавку до середины профиля резьбы, после чего вторым резцом с лезвием, равным ширине дна канавки, прорезают резьбу до внутреннего диаметра.

Последним этапом является калибровка резьбы резцом, профиль которого соответствует профилю нарезаемой резьбы.

Способ 2-й. Первым резцом с шириной, соответствующей ширине дна канавки, прорезают резьбу до внутреннего диаметра, после чего поочередно левым подрезным резцом обрабатывают левую сторону профиля резьбы, а правым — правую. Следует отметить, что 2-й способ значительно производительнее по сравнению с первым.

Одним из рациональных способов является метод образования резьбовых поверхностей с помощью вращающихся резцов. При этом способе заготовка, закрепленная в патроне или центрах станка, имеет частоту вращения 3—40 об/мин, а резец, установленный в специальной головке, вращается вместе с последней со значительно большей частотой, равной 1000—3000 об/мин. Процесс нарезания резьбы может быть осуществлен способами внутреннего (рис. 80, а) и внешнего (рис. 80, б)

касания. При первом способе нарезания деталь расположена внутри резцовой головки и вращается вокруг оси O , а головка с резцом вращается вокруг оси O_1 . Оси O и O_1 смещены относительно друг друга, вследствие чего резец касается поверхности детали периодически на протяжении дуги контакта, составляющей обычно $\frac{1}{3}$ длины окружности резьбы. При втором способе деталь находится в соприкосновении с резцом, будучи от него в стороне, причем площадь контакта весьма мала и кратковременна. Первый способ обеспечивает более высокое качество

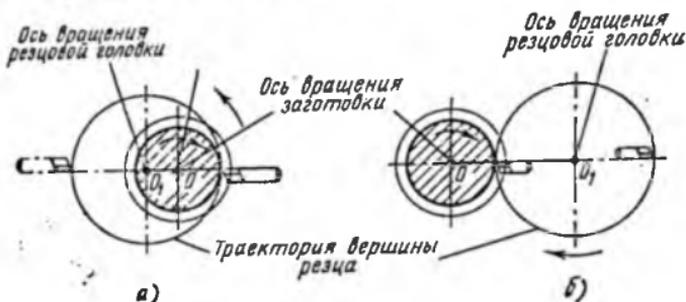


Рис. 80. Нарезание резьбы вращающимися резцами

нарезаемой резьбы, так как резец плавно входит в соприкосновение с деталью, обеспечивая при этом более совершенное снятие стружки.

Параметры процесса нарезания резьбы вращающимися резцами, расположенными по методу внутреннего касания, рассчитывают по формулам:

$$n_d = \frac{s_2 z n_p}{\pi d}; \quad n_p = \frac{1000 v}{\pi D},$$

где n_d — частота вращения нарезаемой детали, об/мин; d — диаметр резьбы наружный; n_p — частота вращения резцовой головки об/мин; s_2 — круговая подача детали на резец, составляющая обычно 0,6—0,8 мм; z — число резцов; v — окружная скорость резцов, м/мин; D — диаметр, на котором расположены резцы, мм. Экспериментальными исследованиями установлены оптимальные значения ряда величин, определяющих высокое качество резьбовых поверхностей наружных и внутренних, получаемых методами вращающихся резцов.

При нарезании наружных треугольных резьб рекомендуется, чтобы $\frac{D}{d} = 1,4 \div 1,6$; скорость резания $v = 150 \div 300$ м/мин, круговая подача $s_2 = 0,3 \div 0,8$ мм на резец. При нарезании внутренних поверхностей отношение диаметров должно составлять $\frac{D}{d} = 0,5 \div 0,55$, причем резцы крепят в специальной оправке с

коническим хвостовиком, вставляемым в шпindelь станка. Оправки оснащены специальными маховичками, обеспечивающими плавность их вращения.

Далее будет рассмотрена группа методов резьбонарезания с применением специальных инструментов (плашек, метчиков, резьбонарезных головок). Плашки изготовляют обычно круглые, раздвижные и специальные. Круглые плашки, выпускаемые по

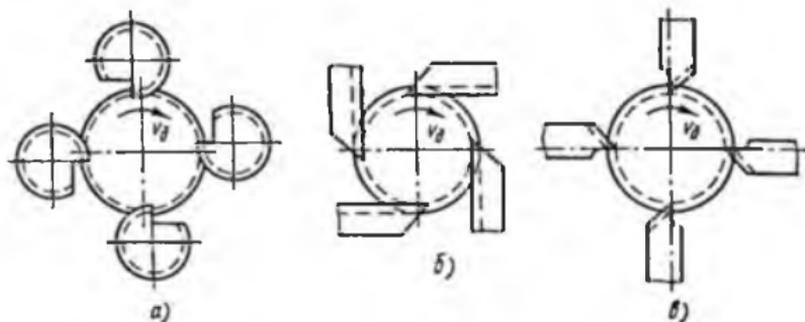


Рис. 81. Схемы нарезания резьбы головками:
а — оснащенными дисковыми гребенками; б, в —призматическими

ГОСТ 9740—71, имеют цельную, разрезную и трубчатую конструкции. Круглыми плашками выполняют работу на деталях, имеющих диаметр 1—52 мм, за один рабочий ход, причем их цельная конструкция обеспечивает получение резьбы более высокого качества.

Разрезная конструкция плашки имеет прорезь размером 0,5—1,5 мм, позволяющую производить регулировку диаметра резьбы в диапазоне 0,1—0,25 мм. Плашки применяют при ручном методе резьбонарезания и при использовании станков, имеющих вращательное движение.

Более производительным методом нарезания наружной и внутренней резьбы следует считать способ с применением резьбонарезных головок (рис. 81). При этом способе наружную резьбу нарезают винторезными, а внутреннюю — гайконрезными головками. Расположение резьбонарезных инструментов может быть радиальным или тангенциальным.

Резьбонарезные головки помимо высокой производительности позволяют получить резьбы 2-й степени точности с шероховатостью поверхности $Ra=5,0 \div 2,5$ мкм и могут быть использованы при работе на токарных, сверлильных, револьверных станках и станках-автоматах, т. е. в условиях серийного и массового производства.

Преимуществом головок является отсутствие необходимости свинчивания их после нарезания, так как они способны самооткрываться.

Внутренние резьбы можно обрабатывать также с помощью метчиков четырех степеней точности и двух исполнений. Метчики ручного исполнения имеют степени точности Е и Н, а машинного исполнения С и Д. Первые из них применяют для нарезания резьб диаметром 2—52 мм вручную, причем их выпускают комплектами, состоящими из двух или трех метчиков. Машинные метчики служат для нарезания глухих резьб тех же диаметров на сверлильных, револьверных, агрегатных и автоматах-станках.

Разновидностью метчиков для нарезания сквозных отверстий являются универсальные гаечные метчики, применяемые как на станках, так и для работы вручную. Эти метчики имеют удлиненные хвостовики-накопители нарезаемых гаек и выпускаются диаметрами 2—33 мм.

Необходимо учитывать, что поверхности, предназначенные для нарезания резьбы, должны иметь такие размеры, которые бы учитывали увеличение диаметров при нарезании наружных и уменьшение при нарезании внутренних резьб.

Резьбы можно нарезать также и методом фрезерования. Этот процесс осуществляется дисковыми и групповыми («гребенчатыми») фрезами и может быть использован для нарезания наружных и внутренних резьб. Дисковые фрезы применяют главным образом для нарезания длинных трапециевидных резьб, наружных и внутренних, диаметром от 10 до 82 мм, с шагом 2—12 мм. Резьбонарезание фрезами ведут в два прохода — черновой и чистовой. При нарезании резьбы дисковой фрезой последнюю изготовляют с профилем, соответствующим профилю резьбы, и устанавливают на фрезерном станке под углом, равным углу подъема винтовой линии.

Для коротких по длине резьб с шагом 0,75—6 мм применяют способ нарезания наружных и внутренних резьб с помощью групповых (гребенчатых) фрез. При фрезеровании наружной резьбы групповыми фрезами (рис. 82, а) фреза и деталь вращаются в одну сторону, причем первая за один оборот детали перемещается на величину шага резьбы в продольном направлении и на полную глубину резьбы врезается в поперечном направлении. Таким образом, весь цикл нарезания резьбы совершается за один оборот детали, а с учетом врезания и отвода фрезы — за 1,25 оборота.

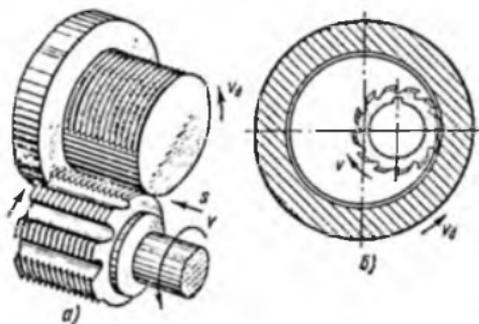


Рис. 82. Нарезание резьбы групповыми фрезами

При нарезании внутренней резьбы групповыми фрезами (рис. 82, б) последние должны иметь диаметр вдвое меньший, чем внутренний диаметр детали. Метод фрезерования групповыми фрезами целесообразно осуществлять на резьбонарезных станках 5Б63 и 5Б64, на которых можно нарезать наружные резьбы диаметром до 100 мм, внутренние — до 80 мм длиной до 75 мм и шагом 6 мм. В серийном производстве групповыми фрезами нарезают резьбы по классам точности 6g (6G) — 8g (8G).

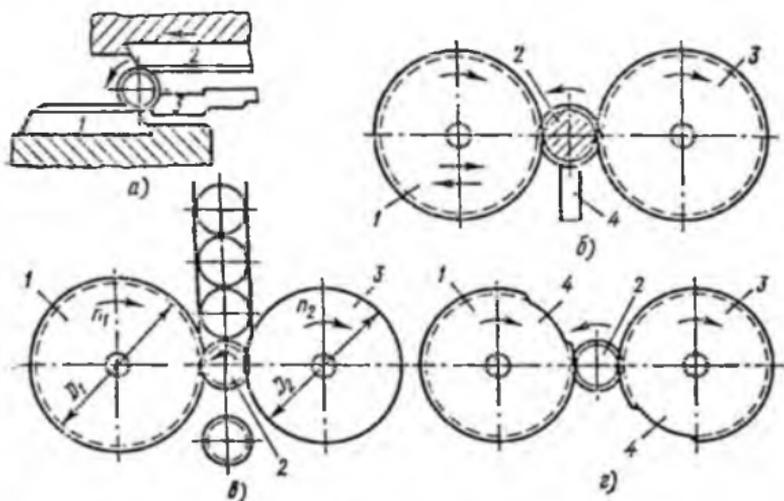


Рис. 83. Накатывание резьбы

Одним из высокопроизводительных методов получения резьбы, обеспечивающим одновременно упрочнение ее профиля, является накатывание, которое осуществляют двумя методами: плоскими плашками и цилиндрическими роликами.

На рис. 83, а показан процесс накатывания резьбы плоскими плашками, на внутренних поверхностях которых нанесена рельефная резьба в развернутом виде. Процесс накатывания осуществляется плашками 1 и 2 на цилиндрической поверхности детали, помещенной между этими инструментами. Деталь перемещается специальным толкателем и упором 3, причем ведущей является плашка 2. По сравнению с процессом нарезания метод накатывания дает экономию металла до 25% и значительно повышает ресурс работы соединения.

Диаметр заготовки

$$d_{\text{нар}} = \sqrt{\frac{d^2 + d_1^2}{2}},$$

где d , d_1 — соответственно наружный и внутренний диаметр резьбы, мм.

Если резьба подлежит хромированию, цинкованию, кадмированию и т. д., то диаметр заготовки

$$d_{\text{зар}} = \sqrt{\frac{d^2 + d_1^2}{2}} - 2 \frac{t}{\sin \frac{\alpha}{2}},$$

где t — толщина покрытия, для хромирования и кадмирования $t=25$ мкм, для цинкования $t=13$ мкм; α — угол профиля резьбы, град.

Второй способ накатывания заключается в применении роликов, имеющих негативный профиль резьбы (рис. 83, б), причем процесс осуществляется преимущественно с радиальной подачей инструмента. Ролики 1 и 3 вращаются в одну сторону, а заготовка 2 находится между ними и поддерживается упором 4. Ролик 1 управляется механизмом радиальной подачи и обеспечивает зажим заготовки между собой и другим роликом. В результате круговых движений роликов и движения радиальной подачи ролика 1 на заготовке образуется резьба. На рис. 83, в изображена схема накатывания резьбы непрерывным способом с тангенциальной подачей роликами 1 и 3, имеющими разные диаметры с постоянным расстоянием между центрами. При такой схеме отпадает необходимость в упоре для заготовки 2.

При четвертом способе накатывания резьбы (рис. 83, г) рабочими инструментами являются два затылованных ролика 1 и 3, которые обрабатывают заготовку 2 с тангенциальной подачей. Такие ролики имеют срезы 4, затылованные заборные и освобождающие части и калибрующие участки.

Операции по накатыванию резьбы плашками следует осуществлять на специальных автоматах МФ-103, МФ-128, 5А935, 5А936. Плашками накатывают резьбы диаметром 2—25 мм, длиной до 125 мм, с точностью 7—9-го квалитетов и шероховатостью $Ra=2,5 \div 0,63$ мкм. Накатыванием роликами получают резьбы диаметром от 0,3 до 150 мм, длиной 100—120 мм, с точностью 6—7-го квалитетов, шероховатостью $Ra=1,25 \div 0,63$ мкм.

§ 7. ОБРАБОТКА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Плоские поверхности обрабатывают строганием, долблением, фрезерованием, шлифованием и протягиванием. В зависимости от характера производства делают выбор рационального метода. В мелкосерийном и единичном производстве обработку плоских поверхностей производят строганием и долблением, так как при этом нет необходимости в сложной оснастке. Но производительность строгального и долбежного станков сравнительно низкая, так как с одной стороны скорости резания не превышают 15—20 м/мин и с другой — имеет место наличие холостых ходов. Установку режущего инструмента производят по разметке,

по шаблонам и с помощью пробных стружек. Заготовки крепят к столу станка и после выверки закрепляют специальными зажимами.

Большей частью на строгальных станках обрабатывают детали прямолинейной формы, причем значительных длин — на продольно-строгальных, небольших длин — на поперечно-строгальных. На долбежных станках предпочтительно обрабатывают внутренние поверхности деталей.

Для повышения производительности продольно-строгальных станков применяют многолезцовую и многоместную обработку, а также широколезвийный инструмент (15—40 мм) для чистовой обработки, работающий с большими подачами — от 10 до 25 мм на один двойной ход.

Основными деталями для обработки на строгальных станках являются такие, которые требуют снятия узких, но длинных слоев материала. В качестве примеров можно привести корпусные детали простой конфигурации, детали из листового или сортового металла для подготовки под сварку и т. п.

Наряду со строганием и долблением плоские поверхности можно обрабатывать и фрезерованием, которое является более совершенным методом. Фрезерование отличается высокой производительностью и обеспечивает лучшее качество поверхности по сравнению с рассмотренными методами, поэтому в серийном и массовом производствах оно находит широкое применение.

Следует разграничивать фрезерование плоских поверхностей от фрезерования фасонных, винтовых поверхностей и зубофрезерования. Для обработки плоских поверхностей используют продольно-фрезерные, торцово-фрезерные и барабано-фрезерные станки. Продольно-фрезерные станки работают с одним или несколькими вертикальными и горизонтальными шпинделями. Пространственное расположение шпинделей позволяет производить одновременную обработку нескольких плоскостей.

Более совершенной конструкцией фрезерного станка следует признать барабано-фрезерный вследствие того, что на нем процесс обработки совершается непрерывно. Барабан станка выполняется конструктивно в виде четырех-, пяти- или шестигульника и насажен на вал, передающий ему вращательное движение. На плоскостях барабана с помощью специальной оснастки устанавливаются детали, которые обрабатываются четырьмя фрезерными головками, находящимися с обеих сторон и имеющими индивидуальные приводы.

Непрерывность обработки на таких станках позволяет получать более высокую производительность и тем самым использовать их в крупносерийном и массовом производствах. Примерные схемы обработки плоскостей фрезерованием приведены на рис. 84. Фрезерование плоскости цилиндрической фрезой с винтовым зубом изображено на рис. 84, а. Та же работа, но осуществляемая торцовой фрезой, показана на рис. 84, б. Обработ-

ка вертикальной плоскости или паза дисковой двусторонней и трехсторонней фрезой с прямым зубом приведена на рис. 84, в, г. На рис. 84, д приведена схема фрезерования паза концевой фрезой со спиральным зубом; одновременная обработка двух боковых поверхностей торцовыми фрезами дана на рис. 84, е. Методом фрезерования обычно достигается точность обработки 9—11-го квалитетов и шероховатость $Ra = 10,0 \div 2,5$ мкм.

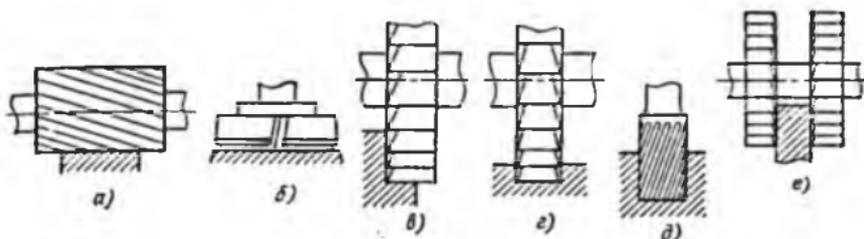


Рис. 84. Схемы обработки на фрезерных станках

Обработка плоских поверхностей возможна двумя способами: встречным фрезерованием, при котором стол станка с деталью имеет движение навстречу вращению фрезы, и попутным фрезерованием, т. е. при совпадении направлений движения детали и инструмента. Встречное фрезерование обеспечивает более плавную нагрузку на режущие зубья фрезы, однако усилия на отрыв детали от стола в этом случае будут значительно большими, чем при попутном фрезеровании. Все это нужно учитывать при выборе метода фрезерования плоскостей и назначать его в зависимости от конфигурации и размеров детали, типа оснастки, диаметра фрезы, моделей станка.

§ 8. ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Характеристика деталей зубчатых и червячных передач. Зубчатые передачи широко используют в экскаваторах различных типов, автокранах, автогрейдерах и других строительных и дорожных машинах. Зубчатые колеса этих машин в основном подразделяют на следующие типы: одношлицевые диаметром до 300 мм (рис. 85, а), в том числе цилиндрические с прямыми и спиральными зубьями; конические с прямыми зубьями; червячные со ступицей и без нее; одношлицевые диаметром 301—500 мм без ступицы (рис. 85, б); многошлицевые цилиндрические (рис. 85, в); многошлицевые шестерни-валы цилиндрические и конические (рис. 85, г); многошлицевые шестерни-валы (рис. 85, д).

Зубчатые колеса строительных и дорожных машин, как правило, передают большие нагрузки, поэтому требуют применения упрочняющей технологии. Материалами для шестерен являются

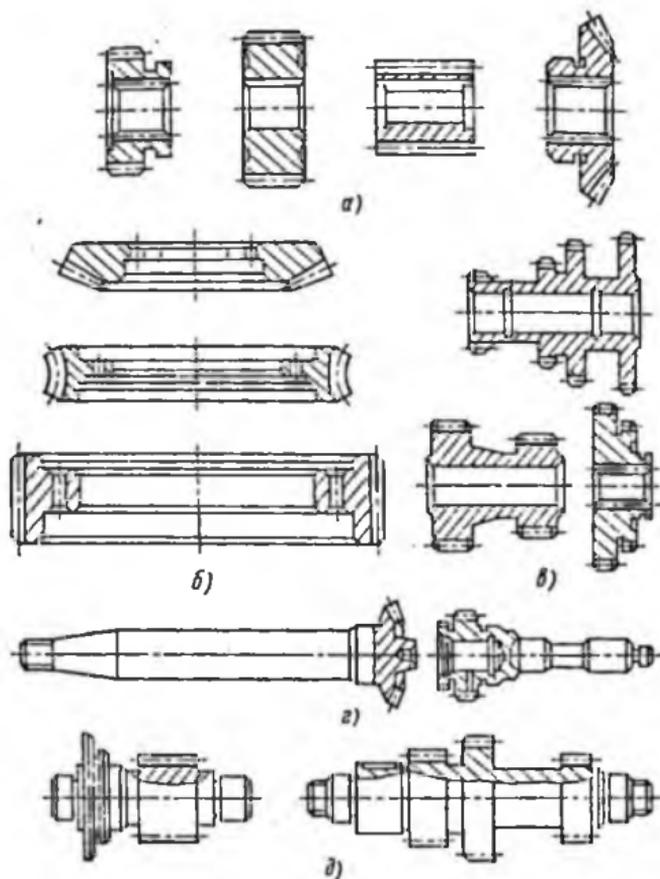


Рис. 85. Типы зубчатых колес строительных и дорожных машин

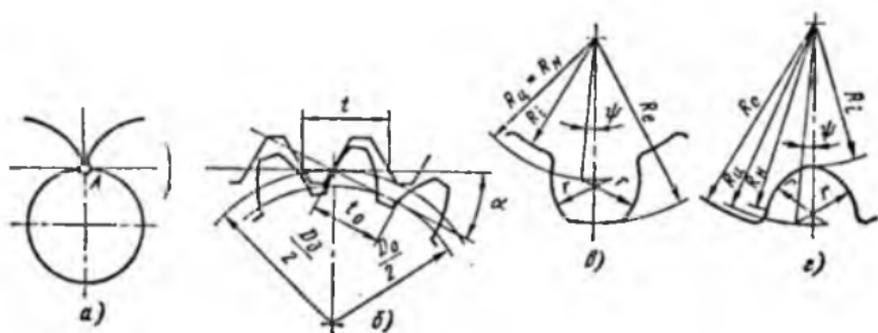


Рис. 86. Схемы зубчатого зацепления:
а, б — эвольвентного; в, г — Новикова

преимущественно стали 45; 35Х, 20Х, 40Х, 18ХГТ; 30ХГТ; 12ХНЗА и др. При изготовлении червячных шестерен применяют также чугуны СЧ 15-32; СЧ 21-40; СЧ 28-48.

Эффективно в строительном и дорожном машиностроении применение зубчатых передач с зацеплением Новикова, а также шестерен с покрытием контура ведомых колес полимерными материалами. Кроме того, для повышения несущей способности эти передачи должны подвергаться специальным методам обработки — механическим и термохимическим.

Применяемые в настоящее время типы зубчатых колес в строительных и дорожных машинах преимущественно имеют зубья эвольвентного профиля (рис. 86, а).

Параметрами для построения зубчатого зацепления являются: основная окружность радиуса $D_0/2$, которая при развертке образует эвольвенту; основной шаг t_0 между зубьями; шаг зацепления (делительный); шаг производящей зуборезной рейки t , соответствующий расстоянию по дуге делительной окружности $D_d/2$; линия зацепления — касательная к основной окружности; угол зацепления α , образованный линией зацепления и перпендикулярный к линии центров.

В отличие от эвольвентного профиль зуба зацепления Новикова имеет следующие параметры: радиус профиля r , радиус R_n окружности, проходящей через центры дуг профиля, радиус начальной окружности колеса R_n , смещение центра дуги профиля с оси симметрии, т. е. угол ψ , радиусы окружностей выступов R_c и впадин R_i , а также шаг и число зубьев.

Диаметр делительной окружности шестерен с эвольвентным зацеплением

$$D_d = \frac{tz}{\pi},$$

где z — число зубьев шестерни.

В зубчатых колесах рассчитывают также величину, называемую модулем зацепления, которая определяется как отношение шага зубьев к числу π :

$$m = \frac{t}{\pi}.$$

Следовательно, $t = \frac{D_d \pi}{z}$, $m = \frac{D_d}{z}$.

Таким образом, модуль зацепления равен не только отношению шага к числу π , но и отношению диаметра делительной окружности к числу зубьев шестерни. Для нормальной работы зубчатых передач их изготовление должно соответствовать требованиям ГОСТ 1643—72. Эти требования регламентируют величины допусков, кинематическую точность, плавность хода, площадь контакта зубьев и боковой зазор. ГОСТ 1643—72 уста-

новлены 12 степеней точности зубчатых передач с обозначением их в порядке убывания точности.

Кинематическая точность определяется погрешностью угла поворота шестерни за один оборот при однопрофильном зацеплении с эталонным колесом. Эти погрешности являются результатом смещения заготовки относительно режущего инструмента и износа основных узлов станка. Боковой зазор представляет собой величину просвета между зацепляемыми зубьями при повороте до отказа одного колеса относительно неподвижного другого.

Эти величины подразделяются на следующие виды сопряжений: А, В, С, Д, Е, Н и каждому виду соответствуют определенные допуски. Положение исходного контура зубчатого колеса определяется расстоянием между его осью вращения и контуром исходной рейки при симметричном положении контура зуба рейки относительно зуба колеса. Следует указать, что дополнительно, кроме приведенных параметров точности, регламентированы также и следующие: для кинематической точности — радиальное биение зубчатого венца и погрешность обкатки, колебание измерительного межцентрового расстояния за оборот колеса; для плавности работы — колебание измерительного межцентрового расстояния на одном зубе, разность окружных шагов; для контакта зуба — погрешность направления зуба.

Указанным выше ГОСТом предусмотрены конкретные значения величин, определяющих допуски на размеры параметров точности зубчатых передач. Конические зубчатые передачи имеют в основном те же параметры точности, что и цилиндрические, однако с учетом некоторых специфических особенностей. Так, в конических шестернях часть параметров точности измеряется в торцовом сечении делительного конуса, являющемся сферической поверхностью с центром на вершине этого конуса. Значения этих величин определяются соответствующими ГОСТами. Для червячных передач нормы точности также определяются ГОСТами, причем для них установлено 12 степеней точности.

Способы формообразования зубьев на различном зубонарезавшем оборудовании. Основными способами формообразования зубьев шестерен являются методы копирования и обкатки. Копирование осуществляется фрезами, имеющими конфигурацию зубьев, аналогичную впадинам между зубьями шестерен. Зубья обрабатывают различными способами: нарезанием модульными дисковыми фрезами каждой впадины, долблением одновременно всех впадин, протягиванием одновременно всех впадин, круговым протягиванием. Метод обкатки осуществляется червячными фрезами, круглыми или реечными долбяками, зубострогальными резцами, резцовыми головками и зубчатыми накатными валиками.

Способ обкатки отличается от способа копирования значительно более высокой производительностью, повышенном несущем

щих способностей шестерен за счет упрочнения поверхности зубьев в процессе формирования. Способ накатывания следует считать рациональным как по производительности, так и с точки зрения упрочнения несущих поверхностей зубьев.

Однако для изготовления зубчатых передач высоких степеней точности способ накатывания не может быть использован. При обработке зубчатых колес строительных и дорожных машин могут быть рекомендованы типовые технологические процессы, приведенные в табл. 12—15.

Таблица 12

Маршрутный технологический процесс обработки шестерен диаметром до 50 мм

Номер операции	Операция	Установочная база	Станок
1	Сверление отверстия, подрезание торца, растачивание отверстия, обтачивание наружной поверхности, отрезка	Наружная цил индическая поверхность	Револьверный
2	Протягивание отверстия и шлицев	Торцовая поверхность	Протяжной
3	Чистовая обработка и подрезание торцов	Внутренняя поверхность отверстия	Токарный полуавтомат
4	Чистовое подрезание торцов на оправке	То же	Токарный
5	Фрезерование зубьев при сквозном выходе инструмента	»	Зубофрезерный
6	Зубодолбление (при невозможности сквозного выхода инструмента)	»	Зубодолбежный
7	Закругление зубьев	»	Зубозакругляющий
8	Шевингование зубьев	»	Шевинговальный
9	Термическая обработка	—	Установка ТВЧ
10	Шлифование отверстия (при центрировании шлицев по внутреннему диаметру вала)	Боковая поверхность зубьев	Внутришлифовальный
11	Калибровка шлицев (при центрировании шлицев по наружному диаметру вала)	Торцовая поверхность шестерни	Протяжной

Методика выбора технологических баз зубчатых колес производится в зависимости от их типов (см. рис. 85). При обработке венцовых шестерен технологической (установочной) базой следует считать отверстие и торец, а при изготовлении валов-шестерен — центровые отверстия.

Самой ответственной операцией является формообразование зубьев. При нарезании зубьев на зубофрезерных станках последние настраивают по формулам, приведенным ниже.

Таблица 13

Маршрутный технологический процесс обработки шестерен диаметром 50—300 мм

Вариант процесса		Операция	Установочная база	Станок
I	II			
1		Сверление отверстия и подрезание торца с одной стороны	Наружная цилиндрическая поверхность	Сверлильный
	1	Сверление, растачивание, обтачивание наружное и подрезание переднего торца	То же	Револьверный
	2	Растачивание выемки в отверстии (при наличии ее) и подрезание второго торца	»	»
2	3	Протягивание отверстия и шлицев одновременно	Торцовая поверхность	Горизонтально-протяжной
3		Черновое обтачивание венцов шестерни и подрезание торцов на оправке	Цилиндрическая поверхность отверстия	Полуавтомат
4	4	Чистовое обтачивание торцов	Цилиндрическая поверхность отверстия	Полуавтомат
5	5	Черновое нарезание зуба	Цилиндрическая поверхность отверстия	Зубофрезерный или зубодолбежный
6	6	Чистовое нарезание зуба	То же	То же
7	7	Закругление зубьев	»	»
8		Шевингование зубьев	»	Шевинговальный
9	8	Термообработка	—	Установка ТВЧ
10	9	Шлифование отверстия (при внутреннем центровании)	Боковая поверхность зубьев	Внутришлифовальный
10а	9а	Калибрование шлицев (при наружном центровании)	Торцовая поверхность	Протяжной

Гитара скоростей станка

$$i_{ск} = \frac{d_1}{b_1} = An,$$

где $i_{ск}$ — передаточное число гитары скоростей; d_1 , b_1 — число зубьев сменных шестерен гитары скоростей; A — постоянный коэффициент цепи скоростей станка; n — частота вращения червячной фрезы, об/мин:

$$n = \frac{1000 v}{\pi D},$$

где v — скорость резания, м/мин; D — диаметр фрезы, мм.

Таблица 14

Маршрутный технологический процесс обработки шестерен диаметром 300—500 мм

Номер операции	Операция	Установочная база	Станок
1	Черновая обработка торца, черновое растачивание отверстия, обтачивание по наружному диаметру места под зажим патрона	Наружная поверхность вращения	Токарный или револьверный
2	Черновая и чистовая обработка наружного диаметра, протачивание торца с другой стороны и чистовое растачивание отверстия	Наружная поверхность вращения и торец	То же
3	То же, с другой стороны	То же	»
3а	Чистовое обтачивание наружного диаметра и подрезание торцов с двух сторон (при установке детали на оправке)	Цилиндрическая поверхность отверстия и торец	»
4	Зубофрезерование черновое и чистовое	Цилиндрическая поверхность отверстия и торец	Зубофрезерный
5	Шевингование	То же	Шевинговальный
6	Вторичная обработка отверстия и торца	Боковая поверхность зубьев	Револьверный
7	Сверление отверстий в зубчатом венце	Цилиндрическая поверхность отверстия и торец	Радиально-сверлильный
8	Зенкерование отверстий	То же	»
9	Термическая обработка	—	Установка ТВЧ
10	Чистовое растачивание внутренней поверхности отверстий и торца	Боковая поверхность зубьев	Токарный

Таблица 15

Маршрутный технологический процесс обработки валов-шестерен

Номер операции	Операция	Установочная база	Станок
1	Фрезерование торцов и центрование с обеих сторон	Наружная поверхность вращения	Токарный или фрезерно-центровальный
2	Черновое обтачивание с обеих сторон и нарезание резьбы	Центровочные гнезда	Токарный
3	Чистовое обтачивание с обеих сторон	То же	»
4	Фрезерование шлицев	Наружная цилиндрическая поверхность или центровые отверстия	Шлицефрезерный или горизонтально-фрезерный
5	Сверление отверстий	Наружная поверхность	Сверлильный
6	Зубонарезание	То же	Зубофрезерный
7	Шевингование	»	Шевинговальный
8	Термообработка	—	Установка ТВЧ
9	Шлифование шеек	Центровые отверстия	Круглошл и фовальный

Гитару подач настраивают по результатам расчета, производимого по формуле

$$i_{\text{под}} = B s_0 = \frac{a_2 c_2}{b_2 d_2},$$

где B — коэффициент, принимаемый в зависимости от вида подачи (осевой, радиальной, тангенциальной), имеющейся на станке; s_0 — подача, мм/об; a_2, c_2 — число зубьев ведущих шестерен гитары подач; b_2, d_2 — число зубьев ведомых шестерен гитары подач.

Гитара деления

$$i_{\text{дел}} = C \frac{a}{z} = \frac{a_3 c_3}{b_3 d_3},$$

где C — постоянный коэффициент делительной цепи для данного станка; a — число заходов червячной фрезы; z — число зубьев нарезаемой шестерни; a_3, c_3 — число зубьев ведущих шестерен гитары деления; b_3, d_3 — число зубьев ведомых шестерен гитары деления.

Гитара дифференциала

$$i_{\text{диф}} = D \frac{\sin \beta}{\pi m a} = \frac{a_4 c_4}{b_4 d_4};$$

$$i_{\text{диф}} = \frac{D_1}{\pi m_{\text{ос}} a} = \frac{a_4 c_4}{b_4 d_4},$$

где D — коэффициент гитары дифференциала при нарезании косозубых шестерен; D_1 — коэффициент гитары дифференциала при нарезании червячных шестерен; $m_{\text{ос}}$ — осевой модуль червячного колеса; a_4, c_4 — число зубьев ведущих колес гитары дифференциала; b_4, d_4 — число зубьев ведомых колес гитары дифференциала; a — число заходов фрезы.

Дифференциал используется при нарезании косозубых и прямозубых колес, для которых нет на станке требуемых сменных шестерен гитары деления. Кроме того, дифференциал используется при нарезании червячных колес с тангенциальной подачей методом, называемым в этом случае нарезанием с протяжным суппортом. Шестерни с внутренними зубьями можно обрабатывать методом протягивания. Однако такой процесс целесообразно осуществлять при числе зубьев шестерни, не превышающем 50.

Распространенным методом формообразования зубьев шестерен, особенно в условиях массового производства, является копировальное долбление (рис. 87). Этот процесс осуществляется с помощью многорезцовой головки, в которой резцы 1 имеют лишь движения подачи, направленные к центру заготовки 2. Заготовка имеет возвратно-поступательное движение.

Рис. 87. Нарезание зубчатых колес способом копировального долбления

Другой разновидностью зубодолбления является нарезание зубьев круглыми долбяками. Этот процесс, основанный на принципе обкатки, осуществляется специальным инструментом с модулем, равным модулю нарезаемого колеса (рис. 88). Метод формообразования зубьев круглым долбяком отличается своей универсальностью, заключающейся в возможности нарезания шестерен с косыми зубьями (рис. 88, в).

Долбяк 1 и колесо 2 непрерывно вращаются вокруг своих осей в направлениях II и III. Кроме того, долбяк 1 имеет возвратно-поступательное движение IV параллельно оси заготовки, осуществляющее нарезание зубьев колеса 2. Обработка с радиальной подачей V производится от начала процесса до врезания долбяка на полную глубину выемки зуба, после чего она прекращается, а продолжается процесс формообразования зубьев и обкатка. После обработки всех зубьев заготовки станок автоматически отключается.

Зубья шестерен нарезают также гребенками, установленными на зубострогальных станках (рис. 89). Гребенками можно нарезать шестерни с прямыми, косыми и шевронными зубьями. Гребенки имеют профиль, соответствующий профилю рабочей рейки. Сначала гребенка перемещается из положения 4 в положение I, затем включается движение обкатки. В процессе обкатки

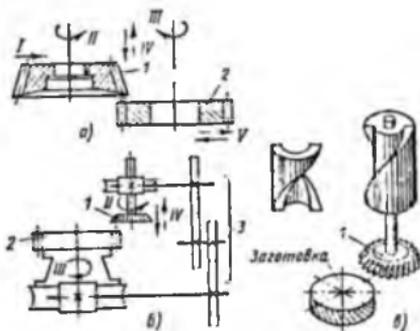


Рис. 88. Схемы нарезания зубчатых колес круглым долбяком:

а — движений; б — зубодолбежного станка; в — нарезание шестерен с косыми зубом

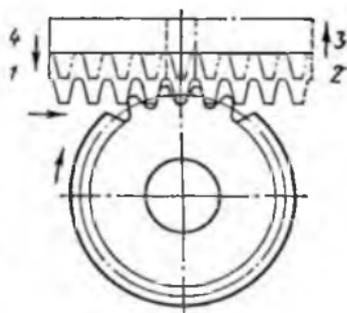


Рис. 89. Нарезание зубчатых колес гребенками

гребенка перемещается из положения 1 в положение 2, а колесо совершает поворот на заданный угол. После обкатки одного или нескольких зубьев процесс начинается вновь, но уже с других зубьев. Из зубчатых колес, применяемых в строительных и дорожных машинах, следует выделить конические шестерни трех групп (рис. 90): группа I, имеющая ступицы с отношением длины l к диаметру $\frac{l}{d} > 1$; группа II — венцовые, ведомые шестер-

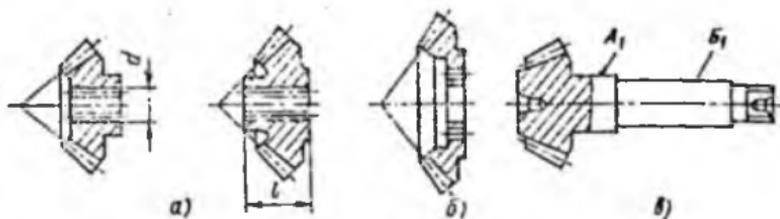


Рис. 90. Конические зубчатые колеса:
а — группа I $l/d > 1$; б — группа II; в — группа III

ни; группа III — ведущие шестерни-валы. Шестерни, относящиеся к группе I, обрабатывают на оправке с базированием по отверстию и торцу. Колеса группы II обрабатывают в патронах с базированием по отверстию и торцу. Колеса группы III обрабатывают в центрах, а базами являются цилиндрические поверхности A_1 и B_1 .

Зубонарезание методом копирования применяют главным образом в качестве предварительной обработки. Как и при обработке цилиндрических шестерен, инструменту (дисковой фрезе) придается форма впадины зуба. Предварительную обработку таким методом ведут в условиях массового производства. Если производство конических зубчатых колес имеет характер единичного и мелкосерийного производства, то ведется и окончательная обработка с получением 6—7-го квалитетов степеней.

Наиболее точным является метод нарезания зубьев конических колес, осуществляемый на зубострогальных станках обкаткой резцами (рис. 91). На рис. 91, а показана схема зацепления нарезаемого колеса 1 с условным колесом 2, зубом которого являются два строгальных резца, имеющих возвратно-поступательное движение. Каждый резец обрабатывает одну сторону зуба. На рис. 91, б показано местонахождение режущих инструментов в специальной оправке, которые являются как бы второй конической шестерней, находящейся в зацеплении с нарезаемым колесом и вращающейся с той же окружной скоростью. Резцы сначала врезаются в деталь, а далее в результате обкатки происходит образование требуемого профиля. После образования одного зуба осуществляется поворот заготовки с помощью

делительного устройства на величину шага и начинается следующий переход — нарезание другого зуба и т. д.

На рис. 91, в показан способ зубонарезания конического колеса с предварительно прорезанными впадинами. Резцы в положении 1 начинают обработку, в положении 2 ведут обработку и в положении 3 заканчивают ее. Все зубья при таком способе обрабатываются за один полный оборот заготовки.

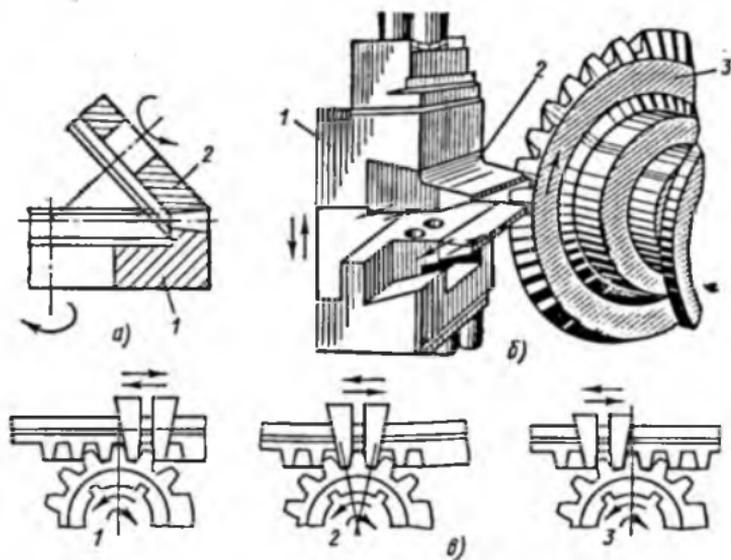


Рис. 91. Нарезание конических зубчатых колес резцами

Кроме указанных методов нарезания конических зубчатых колес имеется способ нарезания с применением двух дисковых фрез (рис. 92). Нарезание зубьев производится дисковыми фрезами 1, профиль и расположение которых обеспечивают получение боковых поверхностей зубьев требуемой формы. Этот способ воспроизводит движение обкатки, которое состоит из вращения фрез вокруг оси O производящего колеса в направлении τ_1 и согласованного с ним вращения нарезаемого колеса 2 в направлении τ_2 . Перемещение режущих инструментов в следующую впадину происходит методом деления при отведенной детали.

Формообразование зубьев червячных колес осуществляется обычно червячными фрезами по схеме, приведенной на рис. 93. Этот способ является наиболее распространенным в строительстве и дорожном машиностроении в условиях серийного производства. Обработку червячной фрезой можно вести с радиальной или тангенциальной подачей. При обработке с радиальной подачей s_p (рис. 93, а) применяют цилиндрическую фрезу и при этом

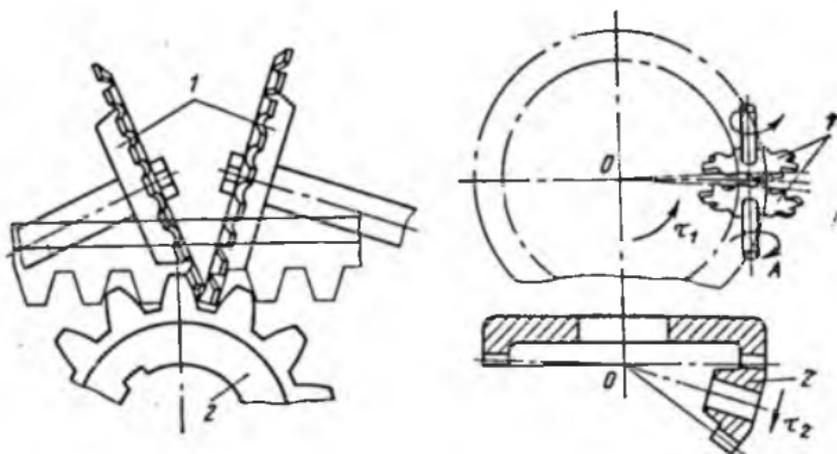


Рис. 92. Нарезание конических зубчатых колес дисковыми фрезами

обеспечивается получение колес 8—9-й степеней точности. При обработке тангенциальной подачей s_{00} (рис. 93, б) необходимо, чтобы заборная часть фрезы имела коническую форму и чтобы межосевое расстояние A во время процесса зубонарезания оставалось постоянным. Этот способ может обеспечить получение колес 7—8-й степеней точности.

При необходимости получения более точных червячных колес (6—7-й степеней точности) изготавливают фрезы для тангенциальной подачи комбинированной конструкции, состоящие из зуборезных, шевинговальных и притирочных участков, плавно переходящих друг в друга.

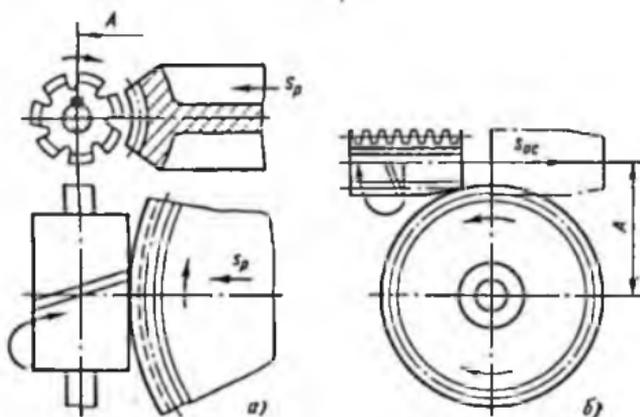


Рис. 93. Нарезание червячных колес

Конические зубчатые колеса со спиральным зубом по сравнению с прямозубыми колесами имеют существенное преимущество, заключающееся в большей несущей способности. Такие колеса изготавливают с помощью резцовых головок односторонней обработкой, при которой вогнутые и выпуклые части зубьев нарезаются отдельно; двусторонней обработкой, когда нарезание боковых поверхностей зубьев совершается одновременно; обработкой с поворотом заготовки при последовательном нарезании выпуклой и вогнутой поверхностей зубьев одним инструментом.

При нарезании пары конических колес со спиральным зубом приведенные способы могут совмещаться: 1) в мелкосерийном производстве — поворотным способом обрабатывают ведущее колесо, односторонним — ведомое; 2) при изготовлении мелко-модульных колес используют поворотный способ; 3) в массовом производстве мелко-модульных колес преимущественно применяют двусторонний способ.

Резцовые головки для нарезания спиральных зубьев конических колес в зависимости от способов обработки подразделяют на односторонние и двусторонние. По направлениям вращения головки разделяют на правосторонние и левосторонние. При нарезании конических колес со спиральными зубьями воспроизводится движение обкатывания заготовки по воображаемому конусному производящему колесу со спиральными зубьями. Для изготовления указанных колес целесообразно применять зуборезный станок 528С, который по конструкции аналогичен станку 5А250.

Инструмент для зубонарезания. В зависимости от способа зубонарезания выбирают режущий инструмент в следующем порядке.

Метод копирования: для шестерен с модулем 15 мм и выше и шестерен, имеющих шевронные зубья, — пальцевые модульные фрезы; в единичном и мелкосерийном производствах — дисковые модульные фрезы; для шестерен с модулями 2—8 мм в массовом и крупносерийном производствах — многорезцовые головки.

Метод обкатки: для шестерен с открытыми зубчатыми венцами и внешним зацеплением в массовом и крупносерийном производствах — червячные фрезы; для шестерен с внутренним зацеплением, шевронных, блочных и, кроме того, в мелкосерийном и индивидуальном производствах колес всех типов — долбяки; для шестерен с внешним зацеплением и при серийном производстве шевронных — червячные фрезы и гребенки.

Дисковые модульные фрезы выпускают в виде наборов в соответствии с ГОСТом и применяют для нарезания шестерен следующим образом: набор из 8 фрез — для колес с модулем до 8 мм; набор из 15 фрез — для колес с модулем 9—16 мм; набор из 26 фрез — для колес с модулем свыше 16 мм.

Такая система зубофрезерования вызвана тем, что эвольвента, определяющая форму зуба, является функцией диаметра

основной окружности, т. е. изменяется в зависимости от числа зубьев и модуля шестерни. Другими словами, для точного зубонарезания при каждой новой комбинации числа зубьев, модуля и диаметра шестерен потребуется специальная дисковая фреза. Выпуск фрез наборами позволяет внедрить в производство способ зубонарезания, обеспечивающий получение шестерни 8—9-й степеней точности по ГОСТ 1643—72.

При нарезании косозубых шестерен дисковую модульную фрезу из набора выбирают согласно следующему расчету:

$$z_{\text{пр}} = \frac{z}{\cos^3 \beta},$$

где $z_{\text{пр}}$ — приведенное число зубьев нарезаемого колеса; z — число зубьев нарезаемого колеса; β — угол наклона зубьев нарезаемого колеса.

Дисковые модульные фрезы выпускают для нарезания зубчатых колес с модулями 1,125—16,0 мм. Червячные фрезы обеспечивают обработку на более высоком уровне качества.

Ось червячной фрезы по отношению к торцу колеса устанавливают под углом

$$\psi = \beta \pm \sigma,$$

где β — угол наклона зубьев шестерни; σ — угол подъема витков фрезы.

При одинаковом направлении зубьев колеса и фрезы величина будет иметь знак «минус», а при различном — знак «плюс».

Червячные чистовые фрезы для зубонарезания изготавливают трех модификаций и четырех классов точности: тип I — цельные, прецизионные, класса точности АА — для нарезания шестерен 7-й степени точности; тип II — цельные, общего назначения, классов точности А, В, С — для нарезания шестерен соответственно 8, 9 и 10-й степеней точности; тип III — сборные, классов точности А, В, С — для аналогичной обработки, фрезы этого типа имеют вставные группы зубьев.

У фрез для нарезания косозубых колес должен быть заборный конус, который выполняют в соответствии с требованиями заказчика. Параметры червячных фрез для нарезания зубчатых колес с зацеплением Новикова регламентированы стандартом.

Зуборезные круглые долбяки изготавливают пяти типов и трех классов точности. Тип I включает в себя дисковые прямозубые долбяки классов точности АА, А, В; тип II — дисковые косозубые долбяки классов точности А и В; угол наклона винтовой линии у этих долбяков составляет 15 и 23°; тип III имеет чашечные прямозубые долбяки классов точности АА, А, В; тип IV охватывает хвостовые прямозубые долбяки класса точности В; тип V предусматривает хвостовые косозубые долбяки класса точности В с углом наклона винтовой линии 15 и 23°. Хвостовые долбяки применяют для нарезания колес с внутрен-

ним зацеплением, а дисковые и чашечные можно использовать для нарезания зубьев как внутреннего, так и наружного зацепления. Классы точности дольбаков АА, А, В обеспечивают получение шестерен соответственно 6—8-й степеней точности.

Финишные операции при обработке зубьев шестерен. При изготовлении специальных видов зубчатых передач, например, бесшумных, высоконагруженных, долговечных и т. п. применяют особые виды отделочной обработки. К этим видам относят шлифование, притирку, хонингование, приработку, шевингование, гидроабразивную обработку и др. Эти методы обработки, являясь финишными, во многом определяют качество зубчатых передач. Рассмотрим методы отделочной обработки зубьев шестерни.

Шлифование применяют для устранения деформаций и других погрешностей, вызываемых обработкой на предыдущих операциях, главным образом термической обработкой. Учитывая, что при шлифовании удаляется наиболее ценный в смысле контактной прочности слой металла, следует по возможности избегать этой операции и заменять ее шевингованием. Если это невозможно, то следует точно определить режимы нарезания, вид охлаждения и правильно выбрать марку шлифовального круга (размеры, материал) для того, чтобы не было прижогов, обуславливающих появление трещин, внутренних напряжений и других дефектов.

Притирку зубьев производят в тех случаях, когда конструкции шестерен не позволяют осуществить шлифование. Иногда притирку применяют после шлифования, причем в этом случае зачастую устраняются дефекты, полученные при шлифовании. Притирку зубьев осуществляют двумя способами: с параллельным расположением осей притира и обрабатываемого колеса (рис. 94, а) и с расположением этих осей под углом (рис. 94, б). Притираемое колесо вращается в зацеплении с шестерней-притиром.

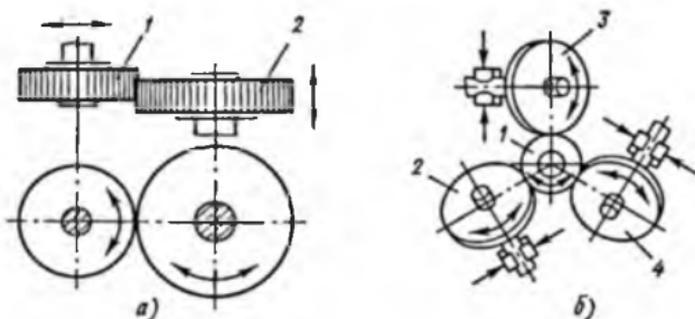


Рис. 94. Притирка зубчатых колес

Притир обычно выполняют из чугуна и перед работой смазывают пастой, состоящей из абразивного порошка и масла. Первый способ (рис. 94, а) заключается во взаимодействии колеса 1 с притиром 2, имеющим тот же модуль. Притир 2, получая вращательное движение от колеса 1, имеет, в свою очередь, возвратно-поступательное движение, а колесо 1 кроме вращательного имеет небольшие осциллирующие колебания.

Второй способ наиболее производительный, предусматривает одновременное обкатывание зубьев колеса 1 с помощью зубьев трех притиров 2—4. Эти притиры имеют различную геометрию зубьев: притир 2 — прямые зубья, притир 3 — косые зубья левого направления под углом 5—10°, притир 4 — косые зубья правого направления с тем же углом. Этими притирами обрабатывают колеса с прямым зубом. Для притирки косозубых колес притир 2 делают косозубым с тем же уклоном, но противоположного направления, и ось его параллельна оси обрабатываемого колеса. Притиры 3 и 4 имеют косое направление зубьев с углом наклона зубьев, соответствующим углу скрещивания.

Притирку обычно производят на станках 573, 5735 и ЕЗ-8. Процесс притирки отличается высокой производительностью и его применяют в массовом и серийном производствах. Для притирки обычно оставляют припуск, не превышающий 30 мкм. Притирка зубчатых колес требует соблюдения определенных правил, обеспечивающих выполнение технических требований. Эти правила сводятся к следующему: размер абразивных зерен должен быть по возможности меньшим; число зубьев ведомых колес шпинделя станка, производящего притирку, не должно быть кратным числу зубьев парного колеса; частота вращения притираемого колеса не должна быть кратной числу его осевых двойных ходов и частоте вращения двигателя и шестерен коробки скоростей.

Хонингование относится к числу операций, выполняемых после термической обработки. Однако этот процесс выгодно отличается от шлифования и притирки, так как он более производителен и нет абразивных частиц в обработанной поверхности.

Различают одностороннее и двустороннее хонингование, выполняемые на шевинговальных станках 5714, которые обычно несколько модернизируют, увеличивая скорость резания до 7—10 м/с. Изготовление колес хонингованием позволяет получить 6—7-ю степени точности.

Процесс хонингования заключается в использовании специального инструмента — абразивного хона, представляющего собой цилиндрическое колесо (металлическое или пластмассовое), венец которого содержит зерна абразива (карбида бора, монокорунда, карбида кремния и т. д.). Во время хонингования имитируется зацепление зубчатых колес винтовой передачи, причём оси парзаемого колеса и хона перекрещиваются. Припуск под хонингование составляет 5—20 мкм, сам процесс осуществ-

ляется при обильном охлаждении с расположением осей хона и обрабатываемого колеса под углом 15—18°.

Одним из наиболее распространенных методов отделочной обработки деталей зубчатых передач является *приработка*. Этот процесс основан на использовании абразивного материала, он способствует увеличению пятна контакта зубьев, повышает чистоту поверхности и создает налет на рабочих поверхностях, что в общей сложности снижает шум и увеличивает долговечность работы передачи.

При небольших припусках приработку шестерен ведут непосредственно после зубофрезерования. В случаях высокого требования к пятну контакта и бесшумности передачи приработке шестерни в паре предшествует предварительная обработка ее чугунным притиром. При необходимости обеспечения взаимозаменяемости шестерен зубчатых передач, например при ремонте, процесс приработки рекомендуется производить термически обработанными шестернями-эталоном. Приработку обычно производят на горизонтально-фрезерных станках одновременно тремя шестернями-эталоном, установленными равномерно вокруг обрабатываемого колеса.

К числу отделочных операций обработки зубчатых колес относится *шевингование*, кинематически воспроизводящее зацепление колес винтовой зубчатой пары с перекрещивающимися осями. Рабочим инструментом в этом случае является шевер, представляющий собой своеобразную шестерню, зубья которой имеют на боковых поверхностях канавки с режущими кромками.

Процесс резания происходит в результате проскальзывания поверхностей зубьев шевера по поверхности зубьев колеса, причем толщина срезаемой стружки составляет 1—5 мкм. Шевер *1* (рис. 95, *а*) вращается по направлению стрелки *I*, увлекая за собой обрабатываемое колесо *2*. Вращение указанной пары периодически реверсируется в направлениях, указанных стрелками *I* и *II*. Кроме указанных движений шевер имеет дополнительное продольно-осевое перемещение (рис. 95, *б*) в направлении *III*. После каждого прохода производится радиальная подача колеса в направлении *IV*.

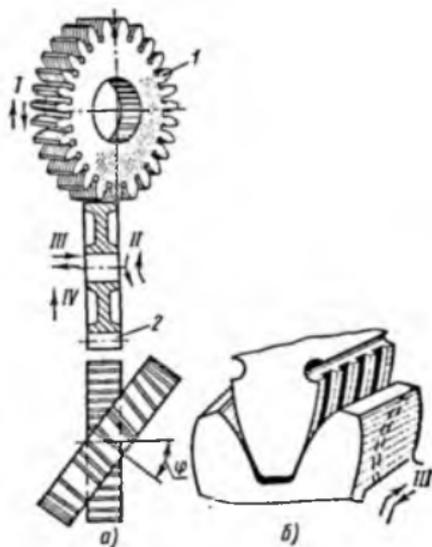


Рис. 95. Шевингование зубчатых колес

IV (рис. 95, а), чем осуществляется сближение осей колеса и шевера. Шевингование применяют для шестерен с модулями от 0,4 до 12 мм и диаметром от 6 до 1200 мм при необходимости иметь 6—7-ю степени точности и шероховатость поверхности зубьев $Ra=0,63\div 0,160$ мкм.

Шевингование обычно производят после цементации и нормализации шестерен для устранения имеющих место после термообработки деформаций. Однако азотирование следует выполнять после шевингования, так как этот процесс не вызывает деформации детали.

Качество зубьев, полученное фрезерованием или шлифованием, можно повысить методом гидроабразивной обработки. Этот метод обработки имеет две разновидности: гидроабразивную обработку в нейтральной среде и комбинированную химическую и электроэрозионную. Качество гидроабразивной обработки определяется величиной зерен абразивных частиц, их энергией при выходе из сопла, углом между направлением выброса зерен и обрабатываемой поверхностью. Шероховатость поверхности после гидроабразивной обработки достигает $Ra=0,63$ мкм, а коррозионная стойкость повышается в 2—4 раза.

В качестве отделочных операций зубчатых колес в машиностроении применяют также обкатку колес без абразива, шевинговку, электролитическое полирование.

Повышение несущей способности зубчатых передач технологическими методами. Повышение эксплуатационных свойств зубчатых передач в машиностроении является важной технической задачей. Большая роль в этом отводится технологическим методам. Сюда в первую очередь относят способы механического упрочнения зубьев, которое осуществляют обкаткой роликами и валками-шестернями, дробеструйной обработкой, чеканкой, обработкой затылками режущего инструмента.

Одним из способов механического упрочнения является обкатка зубчатых колес роликами (рис. 96) на специальном станке, одновременно работают два ролика 2, производящие упрочнение двух расположенных по диаметру впадин между зубьями колеса 1. Специальный механизм обеспечивает необходимое прижатие роликов к упрочняемым поверхностям. Ролики имеют

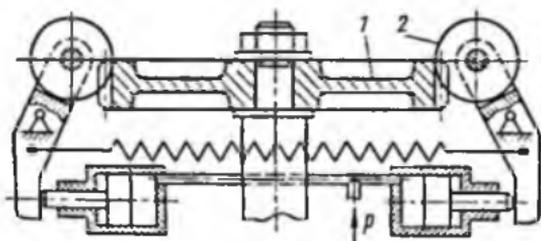


Рис. 96. Схема обкатки зубчатых колес

профиль, строго соответствующий профилю упрочняемой впадины.

Следующим видом механического упрочнения зубчатых колес является дробеструйная обработка. Этот вид обработки применяют, как правило, после химико-термической и механической обработки, в том числе и после шлифования.

Для дробеструйной обработки применяют стальную или чугунную дробь диаметром 0,4—2 мм, которой обдувают упрочняемые поверхности с помощью воздушной струи со скоростью 50—85 м/с. В результате дробеструйной обработки повышается усталостная, контактная прочность шестерен и прочность их на изгиб. Наибольший эффект при дробеструйной обработке получают при правильном выборе размеров дробин и требуемого расстояния от сопла, выпускающего дробь, до упрочняемой поверхности. При этом учитывают, что с увеличением диаметра дробин увеличивается шероховатость поверхности. Расстояние от места выхода дробин до поверхности должно составлять: при пневматических установках 250—300 мм, при механических 300—500 мм.

Для зубчатых колес, испытывающих большие напряжения, применяют чеканку зубьев специальным бойком, имеющим сферическую форму, путем нанесения на рабочую поверхность частых и многократных ударов. Кривизна рабочей части бойка определяется радиусами кривизны упрочняемых поверхностей.

Чеканку производят на горизонтально-фрезерном станке со следующим примерным режимом обработки: подача стола 300 мм/мин, механизм бойка обеспечивает 1200 ударов в минуту при диаметре его рабочей ударной части 3 мм. Процесс чеканки повышает предел выносливости при изгибе на 30—40%. Весьма эффективным методом механического упрочнения зубьев шестерен является пластическая обкатка впадин затылками зубьев режущего инструмента, который предложил П. В. Семенча. В качестве инструмента могут быть использованы дисковые и червячные фрезы, а также долбяки, у которых режущие кромки должны быть удалены.

Процесс упрочнения затылками режущего инструмента должен осуществляться на том же зубообрабатывающем оборудовании, на котором производили и зубонарезание. Этим способом достигается повышение усталостной изгибной прочности в 1,5 раза.

§ 9. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

Червячная передача состоит из червяка и червячного колеса. В строительных и дорожных машинах применяют главным образом червяки линейчатого типа (боковая поверхность которых является поверхностью, образованной движением прямой линии) с расположением зуба по архимедовой и эвольвентной спи-

ралям. Червяки с архимедовой спиралью представляют собой винты с трапецидальной резьбой, которые обычно нарезают на токарных станках. Допускается также изготовление их на фрезерных станках дисковыми и пальцевыми фрезами, имеющими криволинейные режущие кромки.

Эвольвентные червяки нарезают на токарных станках с раздельной обработкой каждой стороны витка. Червячное колесо обычно состоит из двух частей — венца и ступицы. Венец в этом случае имеет центрирующий пояс, являющийся базой при его обработке и сборке со ступицей.

В строительных и дорожных машинах червячные колеса классифицируются на следующие группы: I группа — диаметром до 300 мм, II группа — диаметром 301—500 мм, III группа — диаметром 501—1000 мм, IV группа — диаметром 1001—1500 мм, V группа — диаметром 1501—3000 мм, VI группа — диаметром 3001—5000 мм.

Обработку червячного колеса производят в такой последовательности. Деталь устанавливают в трехкулачковый патрон с базированием по торцу и ведется обработка наружных, внутренних и одной торцевой поверхностей. Далее деталь крепят за ступицу с другой стороны и, базируя по чистой поверхности, производят обработку наружного диаметра ступицы, отверстия и другого торца.

После токарной обработки деталь обрабатывают на протяжном станке, где осуществляется формообразование шлицевых поверхностей. Следующей операцией является окончательное растачивание отверстия. С помощью специальной шлицевой оправки производят чистовую обработку наружных поверхностей.

После этих операций заготовку червячного колеса обрабатывают на зубофрезерном станке с радиальной или тангенциальной подачей. В первом случае используют червячную фрезу, аналогичную применяемой при нарезании цилиндрических зубчатых колес, но форма и размеры ее должны быть сопрягаемыми с червяком. Во втором случае подача фрезы осуществляется вдоль своей оси. Здесь необходимо использовать протяжной суппорт.

Червячная фреза должна иметь заборный конус, а на нем витки со срезанными по конусу вершинами. Обработка червячных колес способом тангенциальной подачи является более точной по сравнению с методом радиальной подачи.

§ 10. ОБРАБОТКА ЦЕПНЫХ ЗВЕЗДОЧЕК

Обработка цепных звездочек аналогична обработке зубчатых колес. Однако для нарезания зубьев звездочек применяют специальный инструмент.

Первым этапом является токарная обработка: подрезка торцов, сверление и растачивание отверстий, обточка наружного контура, подрезка обода. Далее следуют операции долбления

шпоночного паза и фрезерования зубьев методом копирования. После механической обработки звездочки подвергают термической обработке и последующему шлифованию. При массовом производстве эти операции выполняют на станках-автоматах или полуавтоматах. В этом случае на некоторых операциях заготовки звездочек обрабатывают собранными в пакеты.

§ 11. ОБРАБОТКА ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В машиностроении используют шлицевые соединения, имеющие в основном прямоугольную и эвольвентную форму зубьев. Центрирование этих видов шлицевых соединений отличается друг от друга тем, что при прямоугольной форме шлицев оно осуществляется по наружному D или внутреннему d диаметру зубьев (рис. 97, а, б), а при эвольвентной форме — по боковой поверхности зубьев (рис. 97, в).

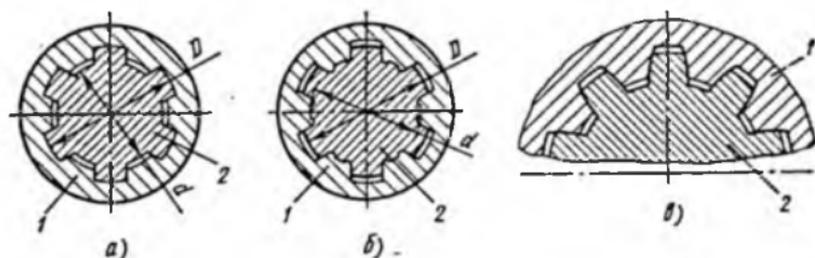


Рис. 97. Центрирование шлицевых соединений:
1 — охватывающая и 2 — охватываемая детали

Способы центрирования выбирают в зависимости от твердости рабочих поверхностей шлицев и размеров шлицевого соединения. В частности, при твердости поверхности шлицевого отверстия, допускающей обработку резанием (например, протяжкой), следует предпочесть метод центрирования по наружному диаметру, так как он является наиболее простым. При термически обработанном (каленном) отверстии целесообразно производить центрирование по внутреннему диаметру. При наличии длинных термически обработанных шлицевых валов целесообразно обрабатывать поверхности шлицев шлифованием одновременно по внутреннему диаметру и боковым сторонам, после чего центрирование можно осуществлять по внутреннему диаметру.

Формообразование шлицевых поверхностей производится фрезерованием, строганием, протягиванием и накатыванием, причем валы целесообразно фрезеровать методами копирования или обкатки. Способ фрезерования фасонными фрезами (рис. 98) заключается в черновой обработке шлицев вала 1 фасонными фрезами 2 (рис. 98, а) и последующем чистовом фрезеровании

боковых поверхностей шлицев торцовыми твердосплавными фрезами 3 (рис. 98, б). Производительность этого способа обработки высокая. Принимаются следующие режимы обработки: скорость резания $v = 180$ м/мин, подача $s_z = 0,55$ мм/зуб.

Шлицы строгают на специальных станках с применением многорезцовой головки. Самым производительным методом обработки шлицевых поверхностей является протягивание (рис.

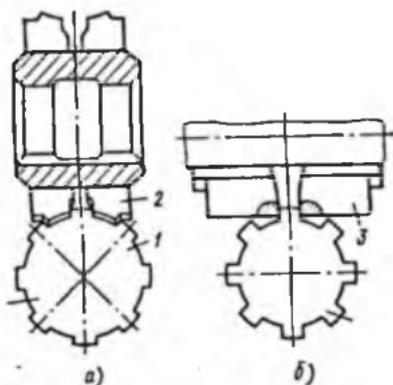


Рис. 98. Фрезерование шлицевых поверхностей

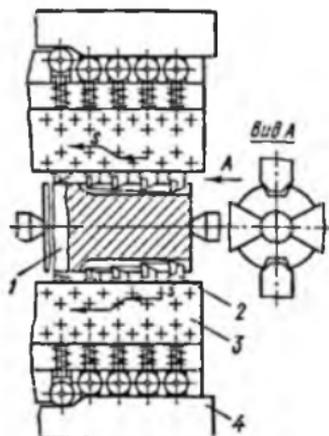


Рис. 99. Протягивание шлицевых поверхностей

99). Этот процесс осуществляется обычно двумя блочными протяжками, производящими одновременное резание двух диаметрально противоположных впадин. Обрабатываемый вал 1 находится между двумя протяжками, оснащенными резцами 2, закрепленными в блочном устройстве 3. Резцы 2 имеют возможность радиального перемещения каждого в отдельности, их положение определяется копиром 4, позволяющим обрабатывать несквозные шлицевые поверхности. Шлицевые отверстия обрабатывают резцами-протяжками комбинированной конструкции, обеспечивающей наибольшую точность.

§ 12. ОБРАБОТКА ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Классификация и способы базирования деталей с фасонными поверхностями. Фасонные поверхности отличаются, как правило, сложными геометрическими формами. Необходимость фасонных поверхностей обуславливается функциональным назначением деталей в сборочных единицах машин. К таким деталям в строительных и дорожных машинах относятся комбинированные валы, валы-шестерни, шнеки с неравномерным шагом, колеса

насосов, крыльчатки вентиляторов, дисковые кулачки, кулачковые блоки, некоторые элементы гидропередат и т. п.

Несмотря на большую разновидность форм и размеров фасонных поверхностей деталей с технологической точки зрения их можно классифицировать на категории по следующим признакам: поверхности, обрабатываемые методом копирования фасонным инструментом; поверхности тел вращения, подлежащие обработке плоскостными копирувальными устройствами; контурные поверхности, обрабатываемые копирувальными механизмами, и объемные поверхности, подлежащие обработке пространственными копирувальными устройствами.

В зависимости от принадлежности обрабатываемой поверхности к одной из перечисленных категорий выбирают способ базирования детали. При обработке поверхностей вращения с использованием фасонного инструмента базой следует выбирать ось детали. При обработке деталей, ограниченных плоскими поверхностями, требуется применение специальных приспособлений с установкой в них на шесть или пять точек. Детали типа тел вращения, обрабатываемые с помощью копирувальных устройств, базируются также по оси детали. Особая точность базирования необходима для деталей, обрабатываемых методами плоскостного или объемного копирования. Как правило, установка деталей в этом случае осуществляется по шести точкам.

Обработка фасонных поверхностей вращения. Рассмотрим способы обработки сложных поверхностей с использованием фасонного режущего инструмента. Типовыми фасонными резцами для обработки сложных поверхностей вращения являются стержневые (рис. 100, а), призматические (рис. 100, б) и дисковые (рис. 100, в) резцы.

Стержневые резцы имеют профиль обрабатываемой поверхности и их можно применять для сравнительно небольших деталей. Эти резцы требуют точной заточки и переточки по специальным шаблонам. Более совершенной, имеющей широкий диапазон применения, является конструкция призматического фасонного резца 1 (рис. 100, б). Этот резец имеет торец 2, выполненный в форме ласточкина хвоста, которым он входит в паз державки 4, его затягивают болтом 3. Паз делают наклонным с таким расчетом, чтобы при установке передний угол резца был равен нулю, а задний $12-15^\circ$.

Дисковый резец (рис. 100, в) имеет фасонную режущую поверхность 1, рассеченную специальным вырезом. Крепление резца производится через отверстие 2 под заданным углом с помощью болта и рифленной поверхности 3.

Для установки дискового резца под требуемым задним углом необходимо определить величину, на которую устанавливают дисковый резец ниже оси обрабатываемой детали (рис. 100, г):

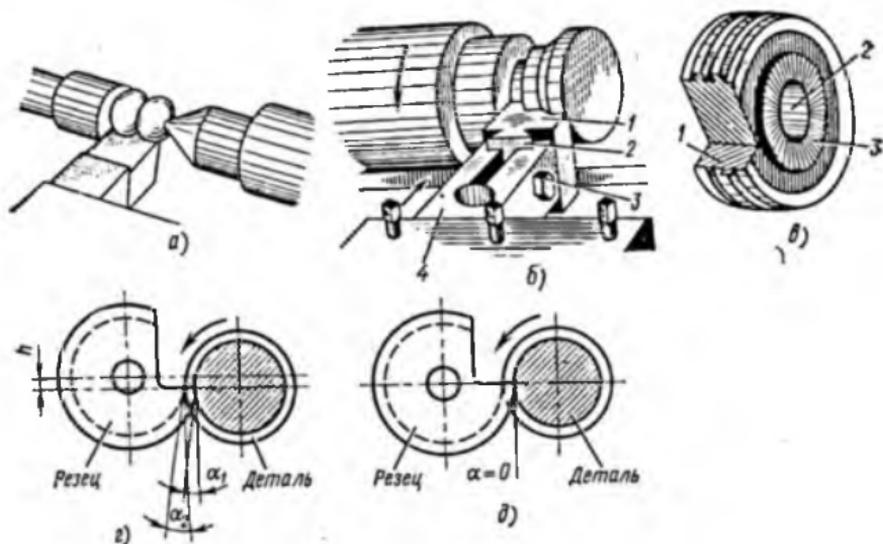


Рис. 100. Фасонные резцы

$$h = \frac{D}{2} \sin \alpha,$$

где D — диаметр дискового резца; α — задний угол резца, который не должен быть равным нулю.

При $\alpha=0$ (рис. 100, δ) величина $h=0$.

Для увеличения периода стойкости фасонных резцов целесообразно ими производить лишь чистовую обработку. Рекомендуемые режимы резания при обработке фасонными резцами: скорость резания 15—25 м/мин, подача 0,01—0,1 мм/об. Фасонные резцы рекомендуется применять для обработки поверхностей вращения сложной формы небольших размеров.

Обработка с помощью копировальных устройств и специальной оснастки. Сложные по конфигурации поверхности могут быть обработаны с помощью копировальных устройств (рис. 101). Копир δ устанавливают на токарном станке перед суппортом и фиксируют стержнем δ . На суппорте станка укреплен ролик γ , который пружинами δ прижимается к рабочей поверхности копира δ и при действии продольной подачи резец повторяет конфигурацию этого копира. Копир устанавливают с помощью тяги δ , гаек δ и δ , помещенных в кронштейне δ . Это устройство обеспечивает получение точной геометрической формы деталей.

Менее точным способом является обработка по копиру с использованием копирной линейки с пазом (в паз вставляют тягу с роликом), которую устанавливают на обратной стороне суппорта.

Наиболее эффективным является метод обработки фасонных поверхностей с использованием гидрокпировального суппорта

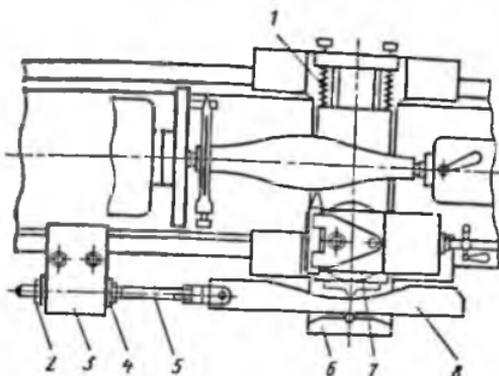


Рис. 101. Копировальное устройство

КСТ-1. Обработка фасонных поверхностей с использованием гидросуппорта имеет свои особенности (рис. 102). Обозначив подачу резца через s , продольную подачу суппорта — через s_1 и дополнительную подачу гидросуппорта вдоль оси цилиндра — через s_2 , получим

$$s = s_1 + s_2, \text{ но } s_1 = AO = OC + AC; \quad OC = OB \cos \alpha = s \cos \alpha;$$

$$AC = BC = OB \sin \alpha = s \sin \alpha,$$

где α — угол подъема линии фасонной поверхности.

Подставив значения OC и AC в уравнение для s_1 , получим

$$s_1 = s \cos \alpha + s \sin \alpha = s (\cos \alpha + \sin \alpha),$$

откуда

$$s = \frac{s_1}{\sin \alpha + \cos \alpha}.$$

Анализируя последнее уравнение, можно сделать следующий вывод: при обработке фасонной поверхности, у которой в направлении к передней бабке станка диаметр увеличивается, подача s постепенно уменьшается и при $\alpha = 45^\circ$ она достигает самой малой величины, так как $\sin 45^\circ = 0,707$; $\cos 45^\circ = 0,707$.

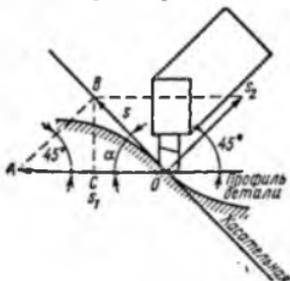


Рис. 102. Схема обработки с помощью гидросуппорта КСТ-1

Откуда

$$s = \frac{s_1}{0,707 + 0,707} = \frac{s_1}{1,414} = 0,705 s_1.$$

При отрицательном значении α величина s возрастает и, например, при $\alpha = -30^\circ$ величина $s = 2,73 s_1$, поэтому использование гидросуппорта при больших отрицательных углах нецелесообразно, а при $\alpha = -45^\circ$ вообще недопустимо.

Сферические поверхности целесообразно обрабатывать используя специальную оснастку, примером которой может служить шаровой суппорт (рис. 103). Корпус 3 суппорта устанавливается на суппорт станка. В корпусе 3 помещены салазки 4 резцедержателя, имеющие вращение вокруг вала 6, ось вращения которого в вертикальной плоскости совпадает с осью вращения шпинделя станка. Салазки 4 имеют возможность перемещать резцедержатель 1 на величину требуемого радиуса R с помощью винта 2. Салазки вращаются от механизма червячной передачи 5 и 7, приводимой во вращение специальной рукояткой. Резец совершает поперечную подачу на заданную величину и в результате его движений, получаемых через круговые перемещения механизмов, обрабатываемой поверхности придается сферическая форма.

Объемные фасонные поверхности обрабатывают с помощью специальных копировальных устройств. На рис. 104 приведена схема конструкции объемного копировального механизма. Принцип действия этого механизма состоит в следующем. Палец A со шпинделем 1 имеет возможность вертикального перемещения, будучи уравновешенным рычагом 5 с грузом на конце и вращающимся вокруг оси 3. Рычаг 18, имеющий ось поворота 4, которая может изменять свое положение в пределах $\frac{1}{4}$ длины рычага, позволяет варьировать масштаб копирования $\frac{1}{1} : \frac{1}{3}$. Рычаг 18 шарниром на конце связан с зубчатой рейкой 6, которая находится в зацеплении с шестерней 10. Последняя одновременно сцеплена с зубчатой рейкой 9. Другой конец рычага 18 шарниром 2 скреплен с корпусом шпинделя. Рейка 9 имеет зубья на двух гранях и входит в зацепление с шестерней 11. Последняя сцеплена с рейкой 12, которая, в свою очередь, связана с колесом 13, далее движение передается рейке 14, рычагу 17 и шпинделю 16 фрезы. Рычаг 17 может качаться вокруг оси 15. Так же, как рейки 6, 9 и шестерня 10, совершают движения рейки 12, 14 и шестерня 13.

Рабочий шпиндель 16, оснащенный фрезой B , имеет рычаг 8 с грузом 7. Шпиндель 1, получая движение от копирующего пальца, описывающего контуры фасонной поверхности, в свою очередь, воздействуя через приведенную кинематическую цепь на рабочий шпиндель 16, сообщает ему аналогичные движения, производимые в заданном масштабе.

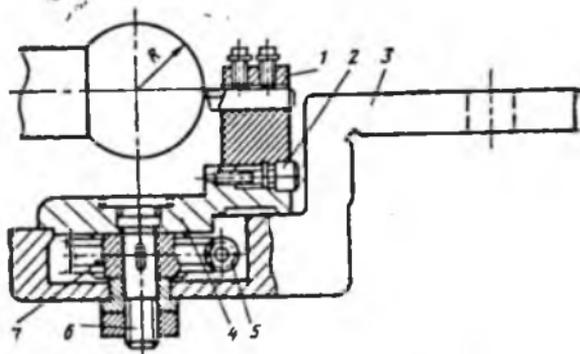


Рис. 103. Шаровой суппорт

Рис. 104. Схема пространственного копирования

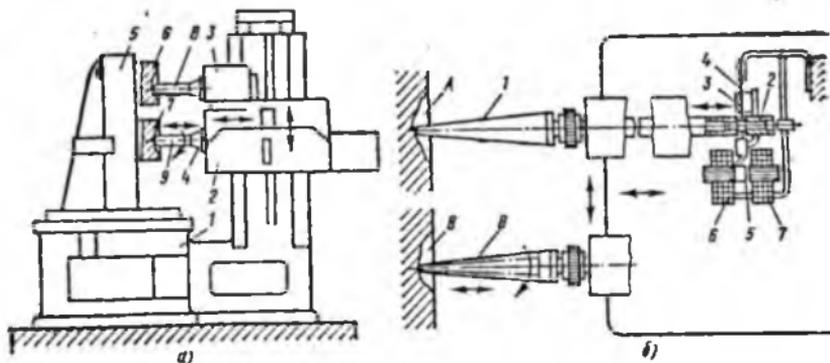
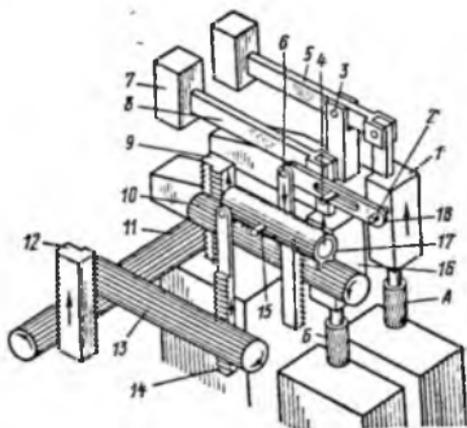


Рис. 105. Копировально-фрезерный станок-полуавтомат

Станкостроительные заводы выпускают специальные копировально-фрезерные полуавтоматические станки 6Б443Г (рис. 105). Станок (рис. 105, а) имеет станину 1 со шпиндельным узлом 2, в котором помещено следящее устройство 3 и укреплена фрезерная головка 4. На вертикальном столе 5, смонтированном на станине, помещен копир 6 и обрабатываемая деталь 7. Шпиндель 2 имеет вертикальные возвратно-поступательные и одновременно боковые перемещения, управляемые следящей системой станка. Стол 5 перемещается лишь в вертикальном направлении (вверх и вниз). Механизмы получают движение от индивидуальных электродвигателей постоянного тока мощностью 0,37 кВт. Копировальный палец 8 ошупывает очертания копира, передавая через следящую систему свои движения фрезе 9 в масштабе 1:1.

На рис. 105, б приведена схема следящего устройства станка. Копирный палец 1 ошупывает полость А. Эти движения передаются втулке 2, грузу 3, подвешенному на пружине 4 к якорю 5 датчика. Движения якоря 5 изменяют зазоры между ним и сердечниками 6 и 7 трансформатора, отчего изменяется сила тока его вторичной обмотки, что, в свою очередь, оказывает воздействие на двигатель, вращающий ходовой винт, который перемещает фрезу 8 в полости В в соответствии с профилем полости А.

Протягивание, фрезерование и финишные операции при обработке фасонных поверхностей. Протягивание, как метод обработки сложных поверхностей, находит все большее применение в машиностроении в условиях массового, крупносерийного и серийного производств. Возможность получения точности обработки по 7—9-му квалитетам и шероховатости поверхности $Ra = 2,5 \div 0,63$ мкм наряду с высокой производительностью дает основание для более широкого распространения этого метода для обработки внутренних и наружных поверхностей.

Протягивание осуществляется двумя основными способами — свободным и координатным. Свободным протягиванием обрабатываются разной формы отверстия, пазы, шлицевые канавки и т. п. Координатное протягивание применяют в тех случаях, когда кроме получения фасонной поверхности необходимо обеспечить точность ее взаимного расположения относительно базовой поверхности в пределах 10—30 мкм. На рис. 106, а показана схема протягивания с направлением режущего инструмента по неподвижным базам приспособления, установленного на протяжном станке. Этим методом можно обрабатывать внутренние и наружные поверхности на горизонтальных и вертикальных протяжных станках. Пример протягивания наружных поверхностей на вертикальных протяжных станках показан на рис. 106, б. Внутренние поверхности можно обрабатывать протягиванием, используя подвижные направляющие базы (рис. 106, в). Протягивание внутренних поверхностей на горизонтальных и вертикальных

станках с базированием инструмента по предварительно обработанной поверхности детали приведено на рис. 106, г.

При координатном протягивании существует определенная зависимость между размерами элементов протяжки и силой резания (рис. 107). Длина рабочей части направляющей

$$L_{н} = l_{д} + H_{п.р} \frac{P_z}{P_y},$$

где $l_{д}$ — длина обрабатываемой поверхности; $H_{п.р}$ — высота последнего режущего зуба протяжки; P_z — горизонтальная составляющая силы резания; P_y — вертикальная составляющая силы резания.

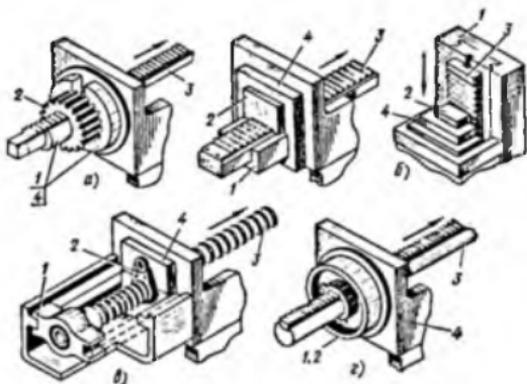


Рис. 106. Координатное протягивание:

7 — направляющие базы; 2 — обрабатываемая деталь; 3 — режущий инструмент (протяжка); 4 — приспособление для координатного протягивания

Протягивание осуществляется профильным, прогрессивным и генераторным способами. Прогрессивная схема протягивания допускает срезание слоя, в 10 раз большего по сравнению с профильной схемой, что позволяет применять ее при обработке отверстий в отливках, поковках и т. п. без их предварительной обработки.

Методом протягивания возможно получение таких сложных внутренних поверхностей, как винтовые канавки. В этих случаях протяжка имеет винтовой зуб соответствующего профиля. Деталь получает вращение от протяжки при ее поступательном движении. Деталь вращается на шариковой опоре.

Фасонные поверхности в массовом и серийном производствах можно обрабатывать и специальными фрезами. На рис. 108 показана схема обработки кулачков фасонными фрезами 1 заготовок 2, которые помещены на оправках 3, находящихся в центрах делительной головки 4. Процесс фрезерования может

производиться одновременно несколькими инструментами на горизонтально-фрезерных станках. Этот метод требует предварительной обработки заготовок вследствие того, что фасонные фрезы нерационально применять для обработки черновых поверхностей заготовок, полученных отливкой, штамповкой, прокаткой.

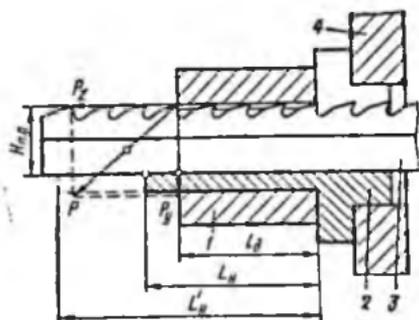


Рис. 107. Протягивание шпоночного паза:

1 — обрабатываемая деталь; 2 — направляющая; 3 — протяжка; 4 — стол станка;
 L — длина рабочей части протяжки;

$$L'' = L + (10 + 15) \text{ мм}$$

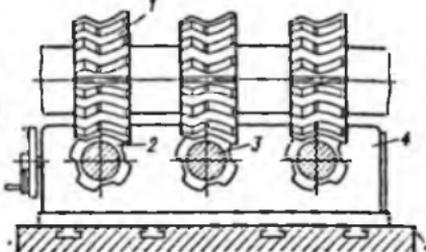


Рис. 108. Фрезерование кулачков

При фасонном фрезеровании предпочтительнее использование фрезы с острозаточенными зубьями, а не затылованными, так как первые имеют большее число зубьев и поэтому работают более плавно, без ударов.

Некоторые виды фасонных поверхностей требуют обработки методом шлифования. Наибольшее распространение получило шлифование наружных фасонных поверхностей (рис. 109). Приведенные схемы шлифования являются наиболее характерными для фасонных поверхностей. Метод шлифования цилиндрических поверхностей посредством продольной подачи приведен на рис. 109, а; на рис. 109, б, в показан способ круглого врезного шлифования с поперечной подачей и с прямым расположением круга, причем в первом случае шейка ограничена буртами, а во втором — свободна. Шлифовальные станки, имеющие несколько бабок, позволяют одновременно обрабатывать врезным шлифованием несколько шеек (рис. 109, и, к).

Шлифование методом продольной подачи (см. рис. 109, а) применяют при обработке деталей длиной более 80 мм, а методом врезной подачи (в том числе шлифование фасонных поверхностей) — длиной менее 80 мм. При использовании специальных наладок длина шлифуемой фасонной поверхности может достигать 200 мм.

Одновременная обработка торцовых и цилиндрических поверхностей обычно производится на торце­круглошлифовальных станках. Из финишных операций, предназна­чаемых для обработки фасонных поверхностей, наиболее распро­страненными следует считать хонингование, доводку и полирование.

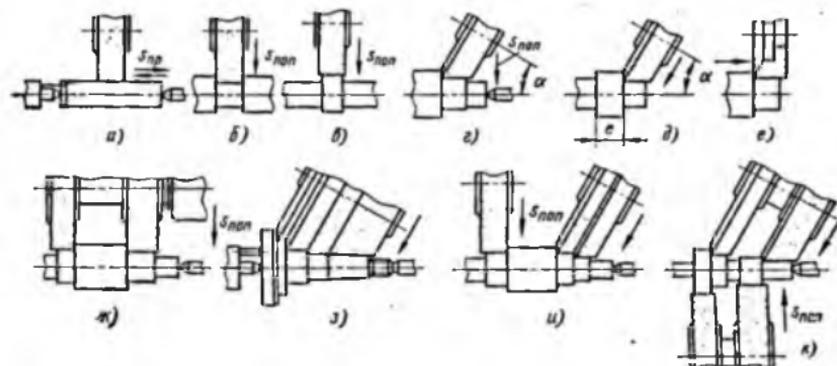


Рис. 109. Круглое шлифование:

а — методом продольной подачи; б, в — методом поперечной подачи; г, д — с угловым расположением круга; е — с прямым расположением круга; ж — несколькими кругами; з — широким профилированным кругом; и, к — одновременное шлифование нескольких шеек

При наличии поверхностей сложной конфигурации наиболее целесообразно применение полирования, которое бывает следующих разновидностей: полирование с помощью кругов, лент, барабанов, а также гидроабразивными и электролитическими методами. Процесс полирования позволяет получить поверхности с шероховатостью $Ra = 0,160 \div 0,04$ мкм. Круги для полирования изготавливаются из фетра или войлока, а также из тканей, бумаги, кожи и т. д. На эти круги с помощью клея наносят искусственные (окись железа, окись хрома, окись алюминия) или естественные (крокус, мел, венская известь, тальк, трепел) абразивные полировальные материалы, которые приготавливаются в виде паст.

В качестве оборудования в данном случае используются специальные полировальные станки типов ДШ85, ДШ86 и др. При полировании рекомендуется принимать скорость вращения круга при обработке стали, никеля и хрома, равной 30—35 м/с, при обработке цветных металлов — 20—30 м/с; давление круга на деталь 25—50 Н/см² длины контактной поверхности. Полирование гибкими абразивными лентами представлено на рис. 110.

Ленты выпускают шириной 10—775 мм и длиной до 25 м, на поверхности которых с помощью клея нанесены абразивные частицы или пасты. Эти ленты в процессе износа можно восстанавливать на рабочем месте без замены. На рис. 110, а изобра-

жена схема метода контактного полирования детали 4 лентой 1 с помощью роликов 2 и 3, причем ролик 3 является натяжным. На рис. 110, б дана схема обработки с опорной плитой 1 лентой 2. Здесь натяжной ролик 3 и диск 4 обеспечивают обработку детали 5, помещенной на столе 6. Обработка свободной лентой показана на рис. 110, в; деталь 1 полирует лента 2, натяги-

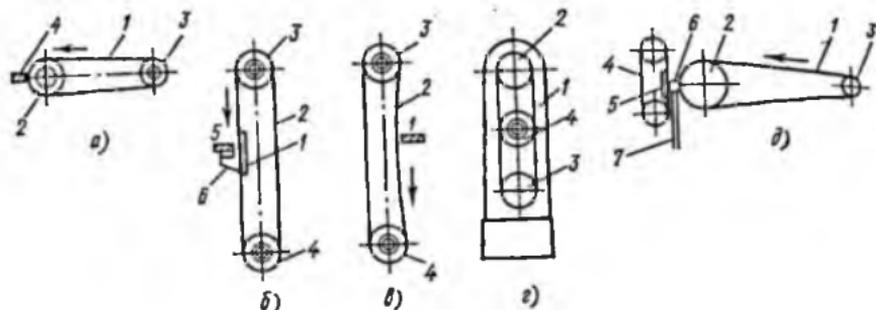


Рис. 110. Обработка абразивными лентами

ваемая роликом 3 и другим концом закрепленная на диске 4. Рис. 110, г иллюстрирует схему профильного контактного полирования лентой 1, вращающейся от роликов 2 и 3. Внутри ленты расположен ролик 4, имеющий форму обрабатываемой поверхности. Схема бесцентрового полирования приведена на рис. 110, д. Деталь 6, установленную на ноже 7, полируют ленты 1 и 4. На ленте 4 установлена опорная плита 5. Ленту 1 натягивают ролики 2 и 3, причем ролик 3 является натяжным.

Наиболее рациональной конструкцией роликов, на которые опирается лента, являются ролики, изготовленные из алюминиевых сплавов и покрытые на опорных поверхностях эластичными материалами (резиной, фиброй, тканью и т. п.).

Для обеспечения высокой производительности полирования рекомендуется применять следующие режимы: давление ленты на деталь 5,5—7,5 Н/см²; скорость резания 10—40 м/с; для получения шероховатости $Ra=0,32$ мкм зернистость ленты 25—6, $Ra=0,160$ мкм — зернистость 6—4, а для $Ra=0,08\div 0,04$ мкм — пасты.

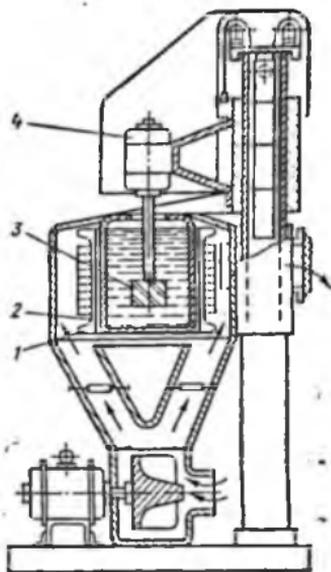
Полирование с помощью барабанов заключается в воздействии на обрабатываемую деталь специальных абразивных материалов, загружаемых в общий сосуд, который вращается или вибрирует. Вращение происходит со скоростью 0,5—1,0 м/с. При применении вибрации получают более высокие показатели качества поверхности и достигают шероховатости $Ra=0,08$ мкм.

В качестве полирующих материалов применяют искусственный корунд, карбид кремния, карбид бора. Эти материалы загружают в барабан, смешав их с металлической дробью (твер-

Рис. 111. Станок для магнитной гидроабразивной обработки

достью HRC 62—65, предварительно отполированной и обезжиренной) и рабочей жидкостью, состоящей из раствора мыла (0,2—0,5%) в нежесткой воде.

Установка для магнитного гидроабразивного полирования (рис. 111) состоит из статора 1 и сосуда 2, в который загружают обрабатываемые детали. Сосуд 2 наполняют рабочей жидкостью. Процесс осуществляется при включении переменного тока в обмотку статора 1, в результате чего создается бегущее электромагнитное поле, приводящее в движение обрабатываемые детали.



В сосуде находится мешалка 3, лопасти которой вращаются от двигателя 4 в сторону, противоположную движению электромагнитного поля, благодаря чему создаются встречные потоки, которые и производят полирование. В качестве рабочей жидкости применяют растворы хлористого и азотнокислого натрия, широко применяемые в промышленности.

Выбор оборудования и оснастки при обработке фасонных поверхностей. Технологическое оборудование для обработки фасонных поверхностей выбирают в соответствии с габаритными размерами детали, ее формой, способом обработки и типом производства. Так, при обработке фасонными резцами можно использовать токарные или токарно-револьверные станки таких характеристик, которые позволили бы обрабатываемую деталь устанавливать на них в рабочем положении. То же самое относится и к использованию копиров при обработке тел вращения, а также при применении таких видов оснастки, как шаровой суппорт.

При фрезеровании контурных поверхностей целесообразно использовать фрезерные станки 6Л463, 6Т463 и др., имеющие круглые столы с приводом от основного механизма. Для объемного копирования применяют копировально-фрезерные станки с пантографом. Эти станки выпускают трех моделей: 6Л463, 6Т463 и 641, отличающихся друг от друга главным образом величинами передвижения стола и габаритными размерами. Для объемного копирования используют станок 6Б443Г со следящим устройством.

Фасонные поверхности обрабатывают методом протягивания на протяжных станках, которые подразделяют на горизонтальные — для внутреннего протягивания, вертикальные — для наружного и внутреннего протягивания и горизонтальные — для непрерывного протягивания. Станки этих групп отличаются в основном силой тяги, потребной для протягивания. Так, станки первой группы 7Б658, 7Б78 и др. выпускают с силой тяги до 800 кН, станки второй группы 7Б57, 7Б77 и др. — до 40 кН, третьей группы МА-17В, 7Б53 и 7Б54 — 25—100 кН. При полировании деталей абразивной лентой обычно используют универсальные станки Д659, Д673 и др., однако их необходимо укомплектовывать специальной оснасткой, изготовленной в соответствии со схемами работы абразивных лент.

§ 13. ОБРАБОТКА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Корпусные детали строительных и дорожных машин в большинстве случаев являются базовыми деталями, на которые монтируют валы, зубчатые передачи, подшипники и т. п. К корпусным деталям относятся картеры коробок передач, главных передач, балансиров, редукторов и др. В большинстве случаев заготовки корпусных деталей изготавливают литыми из чугуна или стали. Технические условия на изготовление корпусной детали зависят от точности монтируемых в ней механизмов.

Диаметры основных отверстий под посадку подшипников выполняют обычно по 7-му качеству точности стандарта СЭВ 145—75 с шероховатостью поверхности $Ra=2,5\div 0,32$ мкм. Несоосность отверстий допускают в пределах половины допуска на диаметр меньшего отверстия, а их конусность и овальность не более 0,3—0,5 поля допуска на соответствующий диаметр. Допуски на межосевые расстояния для цилиндрических зубчатых передач с межцентровым расстоянием 50—800 мм при различных видах сопряжений рекомендуются в пределах $\pm (25\div 280)$ мкм. Межосевой угол для конических передач выдерживается в пределах $\pm (18\div 210)$ мкм на длине образующей делительного конуса 50—800 мм. Отклонение межосевого расстояния для червячных передач при межцентровом расстоянии 40—630 мм составляет $\pm (30\div 210)$ мкм.

Непараллельность осей отверстий допускается в пределах 0,02—0,05 мм на 100 мм длины. Привалочные плоскости обрабатывают с шероховатостью $Ra=0,63$ мкм, а их непрямолинейность допускают 0,05—0,20 мм на всей длине. К поверхностям скольжения предъявляют более высокие требования. У разъемных корпусов несовпадение осей отверстий с плоскостью разъема допускается в пределах $\pm 0,2$ мм, а при диаметре расточки более 800 мм до $\pm 0,3$ мм.

При обработке корпусных деталей большое значение имеет правильный выбор черновых баз для выполнения первых опера-

ций. Если деталь не обрабатывается кругом, то за базу принимают необрабатываемую поверхность. Если обрабатывают все плоскости, то черновыми базами являются такие, которые имеют наименьшие припуски.

После выполнения первых операций базовыми становятся обработанные поверхности.

Пример маршрутной технологии обработки детали типа корпуса приведен в табл. 16.

Таблица 16

Маршрут обработки детали типа корпуса

Номер операции	Операция	Установочные поверхности	Станок
1	Черновая обработка плоских поверхностей	Литые поверхности отверстий под валы	Продольно-фрезерный
2	Чистовая обработка плоских поверхностей	То же	»
3	Черновая обработка отверстий под подшипники валов	Плоские поверхности	Карусельный или расточный
4	Чистовая обработка той же поверхности	То же	То же
5	Сверление крепежных отверстий по кондуктору	»	Радиально-сверлильный
6	Зенкерование и развертывание крепежных отверстий	»	То же
7	Нарезание резьбы в отверстиях	»	»

Обработку корпусных деталей на расточных станках производят при наличии отверстий больших диаметров (от 100 мм и выше). Растачивание отверстий осуществляют специальными резами, установленными в борштангах и оправках. Детали в этих случаях устанавливают на столе станка или в специальном зажимном приспособлении. Шпиндель станка устанавливают по разметке, оправкам и концевым мерам, координатным методом и по расточным кондукторам. Наиболее прогрессивным является координатный метод, который может быть осуществлен на любом расточном станке. Сущность этого метода заключается в следующем: совмещение оси шпинделя с осями обрабатываемых деталей производится с помощью передвижения стола расточного станка и головки шпинделя во взаимно перпендикулярных направлениях по установленным концевым мерам (регулируемым штихмассам). Этот метод позволяет значительно упростить обработку и не применять предварительной обработки отверстий.

Дифференциация и концентрация операций. При разработке технологических процессов возможны варианты дифференциации и концентрации операций. В строительном и дорожном машиностроении преимущественное применение должны находить методы концентрации операций, соответствующие крупносерийному и среднесерийному производству. Концентрация операций может быть последовательной, параллельной и параллельно-последовательной.

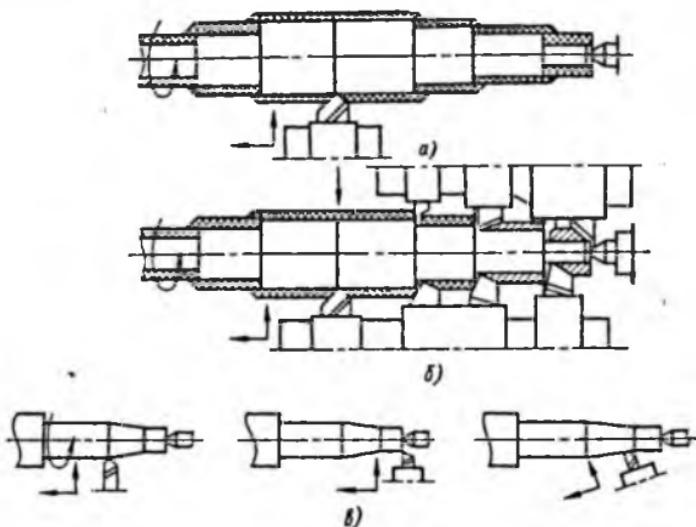


Рис. 112. Схемы обработки валов

Последовательная концентрация (рис. 112, а) предусматривает выполнение 14 переходов одним резцом при двух установках. Параллельная концентрация (рис. 112, б) включает в себя многолезцовую обработку на специальных станках одновременно восемью и шестью резцами при четырех установках. Параллельно-последовательный способ (рис. 112, в) является комбинацией параллельного и последовательного способов концентрации операций.

Выбор оборудования и оснастки. Важным этапом разработки технологического процесса является выбор оборудования, который зависит от типоразмера детали, метода и вида обработки, технических требований, предъявляемых к качеству обрабатываемых поверхностей, метода и вида получения заготовки и типа производства.

Согласно разработанному экспериментальным научно-исследовательским институтом металлорежущих станков каталогу все станки, выпускаемые в СССР, подразделяют на группы, а внутри каждой группы — на типы и размеры. Каждой группе и типу станков присваивают кодовые обозначения — цифры, из которых складывается шифр станков таким образом, что первая цифра обозначает группу станков, а последующие цифры после тире обозначают категории станков. Например, винторезный станок 1622 высокой точности имеет шифр 2-5а, это означает, что он принадлежит к группе токарных станков (код 2) высокой точности (код 5а). Далее приведены кодовые обозначения, данные группе станков:

1 — специальные, 2 — токарные, 3 — токарно-револьверные, 4 — токарные автоматы и полуавтоматы, 5 — расточные, 6 — фрезерные, 7 — строгальные и долбежные, 8 — протяжные, 9 — сверлильные, 10 — зубообрабатывающие, 11 — шлифовальные, 12 — заточные, 13 — обдирочно-шлифовальные и точильно-полировальные, 14 — болторезные и гайконарезные, 15 — для резки металла, 16 — для электрохимической и электрофизической обработки, 16а — электроэрозионные, 16б — ультразвуковые, 16в — для электрохимической обработки, 17 — прочие.

В зависимости от категории станки имеют следующие кодовые обозначения: 1 — крупные, 2 — тяжелые и уникальные, 3 — из новых унифицированных гамм, 4 — приспособленные для встройки в автоматические линии; *прецизионные*: 5 — повышенной точности, 5а — высокой точности, 5б — особо высокой точности; *с программным управлением*: 6 — цикловые, 6а — числовые, 7 — автоматы и полуавтоматы всех технологических групп, 8 — автоматические линии для машиностроения и металлообработки, 9 — базовая модель, 9а — модификация базовой модели, 9б — унифицированная модель.

Типоразмеры станков определяют их основные параметры, в частности, у токарных станков — наибольший диаметр над станиной и длину обрабатываемой детали, у сверлильных станков — наибольший условный диаметр сверления, у фрезерных — рабочую поверхность стола и т. п. Подробные сведения о металлообрабатывающих станках приводят в специальных учебниках, паспортах станков и каталогах станкостроительной промышленности.

К числу важных этапов проектирования технологии следует отнести выбор технологической оснастки, применяющейся при обработке деталей на металлорежущих станках. Технологическая оснастка бывает специальная неразборная и переналаживаемая.

Оснастка первого типа предназначена для обработки определенных деталей одного вида и размеров на данной операции, а вторые могут быть использованы при обработке широкой но-

менклатуры деталей на различных операциях, из них возможно компоновать различные виды специальных приспособлений.

К универсальным приспособлениям относятся поворотные круглые столы с ручным или механизированным приводом, плавающие столы, столы-гумбы неподвижные, столы круглые, магнитные плиты, патроны угловые и прямоугольные, в том числе двух- и трехкоординатные столы, делительные столы, делительные стойки, делительные головки, скальчатые кондукторы и т. д.

К числу специализированных приспособлений относятся: переналаживаемые кондукторы — для сверления отверстий в валах; станочные, винтовые, самоцентрирующиеся рычажные тиски с призматическими губками; патроны с эксцентриковыми кулачками; кондукторы со сменными вкладышами; кондукторы переналаживаемые для сверления отверстий на фланцах.

Переналаживаемые приспособления регламентированы утвержденными нормами и имеют шифр МН. По таким же нормам изготавливают различные типы приводов к приспособлениям с применением пневматических и гидравлических устройств.

Выбор технологической оснастки зависит от тех же факторов, что и выбор оборудования: решающим моментом является тип производства. Так, массовому типу производства присуще применение специальных и специализированных приспособлений, а серийному и единичному — универсальных. Выбор режущего инструмента зависит от обрабатываемого материала, величины припусков, режимов резания и от типа производства.

Современное машиностроительное производство располагает такими материалами для изготовления инструментов, как инструментальные стали (углеродистые, легированные, быстрорежущие), металлокерамические и минералокерамические материалы для пластин, алмазы, нитриды бора и другие.

Углеродистые стали в качестве материала для инструментов в настоящее время имеют ограниченное применение вследствие того, что они склонны к образованию трещин и деформации в процессе термической обработки, имеют низкую теплостойкость (200—250°С). Углеродистые инструментальные стали У10А, У11, У11А, У12 применяют для изготовления мелких сверл, метчиков, разверток, плашек и фрез.

Легированные инструментальные стали имеют сравнительно низкую теплостойкость, но менее подвержены деформациям в процессе термообработки. Применяют их главным образом для изготовления сложного по конфигурации и большого по длине инструмента, например, из сталей В1 и 9ХС изготавливают сверла, метчики, развертки, фрезы, плашки и гребенки; из сталей Х — резцы; из сталей ХВГ, ХВСГ — особо длинные протяжки, развертки, фрезы и плашки.

Быстрорежущие стали, имеющие высокую теплостойкость

(600—700° С), можно использовать на высоких режимах резания и при большой твердости обрабатываемых материалов. Быстро-режущие стали Р18, Р12, Р9, Р6М3 относятся к категории сталей нормальной теплостойкости, а стали Р18Ф2, Р14Ф4, Р9Ф5, Р18Ф2К5, Р9К10, Р10Ф5К5 имеют повышенную теплостойкость.

Указанные качества и прочностные характеристики быстро-режущих сталей необходимо иметь в виду при выборе инструментов для различных условий обработки деталей. В частности, при обработке чугунов и сталей с твердостью *HV* 220—230 используют стали первой группы, а для обработки материалов повышенной прочности — стали второй группы.

При высоких требованиях к твердости инструмента (например, при работе на автоматах, где стойкость режущего инструмента должна быть не менее длительности рабочей смены) целесообразно использовать ванадиевые быстро-режущие стали Р14Ф4, Р12Ф3, а для высоких режимов резания — кобальтовые стали Р18Ф2К5, Р9К5, Р9К10.

Высокими качествами отличаются режущие инструменты, которые оснащены пластинками из твердых сплавов. Наша промышленность выпускает пластины из следующих сплавов: вольфрамовых твердых сплавов типа ВК, представляющих собой карбиды вольфрама, соединенные кобальтом (ВК2, ВК3, ВК3М, ВК4, ВК4В, ВК6М, ВК6, ВК6В, ВК8, ВК8В, ВК15, ВК20 и ВК25); титано-вольфрамовых твердых сплавов типа ТК, представляющих собой карбиды вольфрама и карбиды титана, соединенные кобальтом (Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12В).

Следует подчеркнуть, что промышленность начала серийный выпуск твердых сплавов нового типа — титано-тантало-кобальтовые типа ТТК, состоящие из карбида титана, карбида тантала и карбида вольфрама, соединенных кобальтом. Эти сплавы выпускают двух марок: ТТ7К12, ТТ10К8В. Сплавы типа ВК применяют для обработки чугуна, цветных сплавов и неметаллических материалов; сплавы типа ТК — для обработки сталей; сплавы типа ТТК предназначены для тяжелых условий обработки (большие сечения стружки, ударная нагрузка труднообрабатываемые материалы). Однако сплавы ТТК требуют некоторого снижения скоростей резания по сравнению со сплавами ТК.

В нашей стране выпускают многогранные неперетачиваемые пластинки из твердых сплавов для установки на резцы и фрезы. Они позволяют более рационально использовать режущий инструмент.

Машиностроительные предприятия снабжают так называемыми пластифицированными пластинками из твердых сплавов, которые выпускают в незапеченном виде, что дает возможность придать им любую форму для оснащения, например червячных фрез, сверл, метчиков, зенкеров и т. п. Пластины запекают после формообразования либо на заводе твердых сплавов, либо (по инструкции завода-поставщика) непосредственно у потребителя.

Кроме того, промышленность выпускает цельнотвердосплавный инструмент: фрезы диаметром 20—60 мм, развертки диаметром 6—12 мм, метчики диаметром 2,45—10,5 мм, сверла диаметром 1,8—5,2 мм, конические и цилиндрические борфрезы 8—32 мм.

Для чистовой обработки различных материалов успешно применяются минералокерамические пластинки ЦМ-332. Таким образом, значительно расширены возможности применения твердых сплавов при механической обработке, что обеспечивает повышение производительности труда и положительно сказывается на качестве продукции. Выбор соответствующей марки твердого сплава зависит от режимов резания, обрабатываемых материалов и типа производства.

В условиях массового производства, т. е. при обработке деталей на автоматических линиях и другом специальном оборудовании, определяющим фактором должна быть стойкость инструмента. В серийном производстве при выборе инструмента необходимо учитывать возможности многоинструментальной обработки при концентрации операций. Следовательно, вопросы выбора оборудования, приспособлений и режущего инструмента должны решаться комплексно, с учетом всех действующих факторов.

§ 15. ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Использование станков с программным управлением в определенных условиях резко повышает технико-экономические показатели обработки деталей. Станки с программным управлением сводят до минимума ручной труд, резко поднимают производительность обработки, повышают точность обработки деталей, обеспечивают высокое качество обработки поверхностей сложной формы и т. д. Однако использование станков с программным управлением целесообразно в каждом конкретном случае экономически обосновывать.

В автоматических станках программа движений рабочих органов реализуется кулачками со специальными профилями или копрами. При изменении размеров или контуров деталей программноносители подлежат замене. Это накладывает определенные ограничения на возможности рационального использования таких станков. Целесообразно применять станки-автоматы и полуавтоматы в массовом производстве и только в определенных случаях — в серийном.

Рассматриваемые станки имеют более гибкий орган — числовое программное управление. Носителями программы в этом случае являются: перфокарты, перфоленты, магнитные ленты, магнитные барабаны, штеккерные панели, кнопочные панели. Эти программноносители обладают способностью быстрой заме-

ны и для переналадки станка не требуется каких-либо новых деталей. Этим значительно повышается универсальность станков, сокращается время на переналадку, повышается точность и производительность обработки.

Применение станков с программным управлением позволяет ввести систему дистанционного управления ими и уменьшить номенклатуру технологического оборудования предприятия.

Программное управление классифицируется на размерное и цикловое. Наиболее широкие возможности имеет размерное управление, поскольку оно регулирует режимы обработки и пути перемещения рабочих инструментов. Цикловое управление содержит информацию о режимах обработки, а вопросами перемещения «ведает» специальные упоры, оказывающие воздействие на путевые переключатели.

По способам движений рабочих инструментов указанные станки подразделяют на контурные и координатные. Станки с контурными системами управления производят непрерывное регулирование движений рабочего инструмента в соответствии с заданной программой и поэтому применяют их преимущественно для обработки криволинейных поверхностей.

Координатное управление используют для обеспечения точного положения рабочего органа станка относительно места обработки, вследствие чего применяют, в основном, при расточных и сверлильных работах.

При фрезеровании деталей, имеющих прямоугольные контуры, или токарной обработке валов, поверхности которых параллельны направляющим станка, применяют координатное управление так называемого прямоугольного типа, при котором движения параллельны направляющим станка.

Системы управления могут выполняться в виде трех разновидностей: разомкнутой, замкнутой и адаптивной. Первая, не имеющая обратной связи, содержит только один поток информации, направленный от устройства, считывающего программу, к исполнительному органу. Замкнутые системы имеют обратную связь, снабжены двумя потоками информации, обеспечивающими сравнение размеров обработанных поверхностей с заданными. В результате таких сравнений вырабатываются корректирующие сигналы, по которым исполнительные органы получают соответствующие перемещения.

Адаптивные системы управления способны дополнительно самонастраиваться в зависимости от изменения таких параметров, как режим резания, жесткость технологической системы, припуски на обработку, твердость обрабатываемого материала и т. п.

Станки с числовым программным управлением (ЧПУ) работают от программы, выраженной соответствующими цифрами. Исполнительные устройства станков получают эту информацию в закодированном виде, так как это единственная возможность

восприятия информации считывающим устройством системы ЧПУ.

В качестве программносителей применяют перфорированные ленты или карты, магнитные ленты и штеккерные или кнопочные переключатели. Программа на ленту наносится путем пробивки отверстий специальным перфоратором. Программа, нанесенная на перфоленту, подлежит считыванию специальным устройством электромеханического, фотоэлектрического или пневматического исполнения.

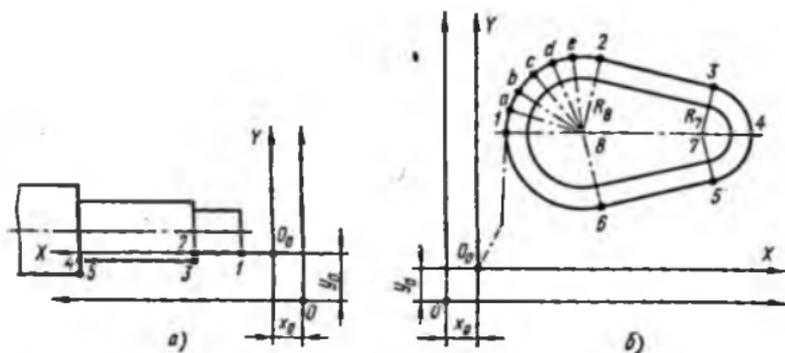


Рис. 113. Примеры обработки деталей на станках с программным управлением:

а — токарном (путь движения резца); б — фрезерном (путь движения фрезы)

Примеры обработки деталей на станках с числовым программным управлением приведены на рис. 113. Исполнительные органы станков с ЧПУ имеют возможность перемещаться по двум или трем взаимно перпендикулярным направлениям (координатам). Перемещение по оси X соответствует направлению продольной подачи, перемещение по оси Y — направлению поперечной подачи и по оси Z — направлению вертикальной подачи. Начало координат по отношению к оператору располагают с таким расчетом, чтобы продольное перемещение исполнительных органов совершалось влево, поперечное — от оператора и вертикальное — вниз.

При контурной обработке по заданному профилю на детали наносят опорные точки 1, 2, 3 и т. д. с обозначением их координат. Эта система координат называется относительной и при установке деталей на станке направления осей этой системы должны совпадать с осями координат станка. Опорные точки контуров деталей обычно совпадают с местами сопряжения участков профиля, а также с вершинами углов, центрами окружностей и т. п.

При обработке криволинейных поверхностей пути движения инструментов разбивают дополнительно на несколько промежу-

точных участков *a, b, c, d, e* (рис. 113, б), в пределах которых криволинейный профиль практически заменяют прямыми линиями. Далее вычисляют координаты опорных и промежуточных точек.

Этот процесс осуществляется специальными интерполяторами, вырабатывающими на основании заданной информации о координатах этих точек командные импульсы по координатам станка, которые и осуществляют заданные перемещения его рабочих органов.

Модели металлорежущих станков с программным управлением. Станки с программным управлением находят все большее применение в строительном и дорожном машиностроении. Хорошую рекомендацию в отрасли получили следующие станки с ЧПУ.

Токарный станок 1А616ПУ предназначен для обработки тел вращения самого разнообразного профиля. Программой станка определяются траектория движения инструмента и величины подачи. Программа записывается на перфоленту. Применение станка этой модели позволяет в 2—3 раза повысить производительность по сравнению с обработкой на токарном станке 1К62 и получать высокую точность.

На токарно-карусельном станке 1512Ф2 можно обрабатывать детали многих наименований. Станок 1512Ф2 применяют для обработки внутренних и наружных поверхностей вращения, имеющих цилиндрический и конический профили. Кроме того, на этих станках успешно выполняют растачивание, сверление, зенкерование и т. п. Программоносителем станка является перфолента, на которую условным кодом нанесены режимы обработки. При использовании 10 карт цикл обработки может состоять из 120 переходов. Особо следует отметить преимущества применения карусельных станков с ЧПУ при обработке крупногабаритных деталей сложной формы.

Фрезерный станок с ЧПУ 6Р13Ф3, созданный на базе вертикально-фрезерного консольного станка, оснащен импульсной системой программного управления. Импульсы, записанные на ленте, обеспечивают управление станком в направлениях всех трех координат. Станок рационально применять при обработке поверхностей особо сложной формы.

Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ 6Р11Ц применяют для обработки деталей из различных материалов, включая сталь, чугун и легкие сплавы. Этот станок успешно применяют также при обработке сложных поверхностей.

Станки с ЧПУ подразделяют на станки токарной группы, станки сверлильно-расточной группы, станки шлифовальной группы и станки фрезерной группы. Станки с ЧПУ токарной группы имеют различные варианты исполнения по числу суппортов, поворотных резцедержателей и наличию инструменталь-

ных магазинов. Станки с ЧПУ сверлильно-расточной группы включают в себя станки вертикально-сверлильные с крестовым столом, горизонтально-сверлильные с крестовым и поворотным столами, портально-сверлильные, горизонтально-расточные и т. д. Станки с ЧПУ шлифовальной группы оснащены системами активного контроля высокой точности. Станки с ЧПУ фрезерной группы имеют разновидности по размерам стола, что позволяет широко использовать их для обработки деталей различных форм и размеров.

Возможности использования станков с ЧПУ в строительном и дорожном машиностроении. Широкие технологические возможности, быстрота и дешевизна наладки делают применение станков с ЧПУ рентабельным для обработки малых партий и даже единичных заготовок в серийном и единичном производствах. Важно в каждом отдельном случае определить целесообразность использования станков с числовым программным управлением. Это условие необходимо соблюдать и при изготовлении деталей строительных и дорожных машин.

Окончательным критерием целесообразности использования станка с ЧПУ должны быть результаты технико-экономических расчетов, методика выполнения которых изложена ниже. До расчетов необходимо предварительно определить принципиальные возможности использования станка. Прежде всего следует оценить преимущества станков с программным управлением при обработке крупногабаритных деталей со сложной конфигурацией, сложных литейных моделей, сложных штампов и такой серийности деталей, которая требует частой переналадки оборудования. Другими словами, станки с программным управлением должны все шире внедряться в серийное производство.

На станках с ЧПУ нужно обрабатывать такие детали строительных и дорожных машин, как шлицевые валы диаметром 70—100 мм длиной 500—750 мм, полые валы диаметром 80—115 и длиной 400—500 мм, тяжелые эксцентриковые валы диаметром 150—250 и длиной 1000—2000 мм, заготовки зубчатых колес диаметром свыше 200 мм сложной конфигурации, заготовки крупных комбинированных червячных передач, корпусные детали редукторов и т. п.

Иногда целесообразно оснащать станки с ЧПУ агрегатными головками. Целесообразность определяется в основном конструкцией конкретной детали. Например, если в корпусной детали, помимо расточки основных требуется сверление других отверстий, вполне оправданным будет оснащение станка агрегатными головками. Таким образом, выбор вариантов технологических процессов зависит от предварительного выбора оборудования, после чего следует выполнить технико-экономические расчеты. После сравнения этих вариантов по определенным критериям определяют оптимальный.

§ 16. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ДЕТАЛЕЙ РЕЗАНИЕМ

В условиях серийного производства строительных и дорожных машин при частой смене объектов изготовления и значительном объеме технологических разработок из-за ограниченного резерва времени и штата технологов технологические процессы проектируют укрупненно без расчетов, направленных на выявление оптимального варианта.

Для сокращения сроков и совершенствования технологической подготовки производства все более широкое применение находят методы автоматизированного проектирования технологических процессов обработки деталей резанием, основанные на научных положениях технологии машиностроения, математических методах оптимизации, использовании современных средств вычислительной техники (электронно-вычислительных машин (ЭВМ) и периферийных устройств, работающих во взаимодействии с ЭВМ).

С помощью ЭВМ можно решать большое число технологических задач частного и общего характера; проектировать типовые технологические процессы обработки стандартных деталей, разрабатывать нормативы технологического проектирования, проводить поиск новых решений, рассчитывать ожидаемую точность, припуски, промежуточные размеры переходов обработки, размеры заготовок, режимы резания, технические нормы времени, устанавливать наиболее выгодные маршруты обработки отдельных поверхностей и деталей в целом, выбирать методы получения заготовок, подбирать комплекты деталей для групповой обработки, определять рациональную структуру автоматических линий, рассчитывать надежность работы технологических систем, автоматизированно подготавливать управляющие программы для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) и др.

Одна из основных задач, решаемых с помощью ЭВМ, это проектирование технологических процессов обработки резанием. Перспективно использовать ЭВМ и как средство автоматического управления комплексами технологического оборудования. ЭВМ позволяет многократно ускорять и оптимизировать технологические разработки, снижать себестоимость их выполнения, высвобождать работников, занятых в технологических службах заводов и проектных организациях.

С появлением ЭВМ, работающих на интегральных схемах и обладающих большим быстродействием и оперативной памятью значительной емкости, возможностью работы во взаимосвязи с развитой системой периферийных устройств в виде дисплеев, графопостроителей, чертежных машин, стал возможен переход от автоматизированного решения частных технологических за-

дач к созданию автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП).

Автоматизация разработки технологического процесса включает несколько последовательных стадий. После каждой стадии предусматривается оценка полученных результатов, которая производится ЭВМ или технологом в зависимости от конкретной ситуации. Например, качество разработанной станочной операции по себестоимости оценивает ЭВМ, а сформированную комплексную заготовку с показателями по себестоимости, трудоемкости и экономии металла оценивает технолог. В стадиях проектирования для внесения коррекции на промежуточных этапах обязательно предусматривается обратная связь — человек и ЭВМ взаимосвязаны. Творческие функции остаются за человеком. Он принимает окончательное решение, готовит исходные данные, вносит коррективы в алгоритмы и модели, анализирует полученные данные, привлекает ЭВМ к решению вопросов в зависимости от конкретной ситуации и обстановки.

Проектированию технологии на ЭВМ предшествует четкая постановка задачи. Необходимо представить математическую модель проектируемого процесса в виде аналитических или экспериментальных зависимостей, логических условий, таблиц. Нужно оговорить возможные ограничения условий поставленной задачи (тип оборудования, вид заготовки, диапазон подач и скоростей резания, стойкость инструмента и пр.). Следует предусмотреть и выделить математические и логические связи параметров внутри этапа и между этапами решаемой задачи. Во многих задачах сложные явления нельзя описать точными математическими формулами. В этом случае они представляются приближенными (аппроксимированными) выражениями. При наличии неявных связей между теми или иными параметрами или факторами используют такие зависимости, которые получены на основе специального (корреляционного) анализа.

Возможность и эффективность автоматизированного проектирования технологии определяется прежде всего развитием научных основ технологии машиностроения. Без этой научной базы невозможно рационально использовать колоссальные решающие способности ЭВМ, так как получаемые решения будут иметь неточность результатов и значительно отличаться от оптимальных значений.

Наиболее сложной стадией проектирования является разработка алгоритма технологической задачи и составление программы работы машины. Алгоритм — это система вычислительных и логических операций, выполняемых в определенном порядке для решения поставленной задачи. Математические алгоритмы основываются на достаточно точных законах, эвристические алгоритмы — на наблюдениях, опытах, статистических данных. Программа — это описание алгоритма на определенном языке — содержательном, языке математических выражений,

формальном, машинном. Принятый алгоритм реализуется путем выполнения в определенной последовательности арифметических и логических операций, задаваемых набором команд в программе. Программы перед вводом в ЭВМ кодируются на языке машины и записываются на носителе информации (перфоленге, перфокарте, магнитной ленте). При этом используются такие алгоритмические языки, как «Assembler», «Algams», «Cabol», «Algol-60», «Fortran-IV» и др. После кодирования программа представляет собой совокупность команд, преобразуемых в ЭВМ в управляющие сигналы. Перед началом работы программа отлаживается и контролируется. Ошибки в программе не допускаются.

Алгоритм и программа могут быть разработаны для специального и типового случаев проектирования. В последнем случае по единой программе решаются задачи, сходные по структуре и последовательности выполнения этапов (например, автоматизированное проектирование технологических процессов изготовления деталей разной формы и размеров, но принадлежащих одному типу). При решении задач такого типа в ЭВМ вводятся каждый раз новые исходные данные и ограничивающие условия.

Информация об исходных данных (основные сведения об обрабатываемой детали, оборудовании, оснастке, заготовке и т. п.), ограничивающих условия решения задачи, представляется в кодированном виде. Количественная информация (число деталей в партии, их масса и т. д.) вводится в запоминающее устройство ЭВМ без переработки, а качественная преобразуется в установленные коды. В существующих типах ЭВМ используется буквенно-цифровой код различных систем. Закодированная информация с кодировочного бланка переносится транслятором на перфоленгу (перфокарту) и вводится в машину. Трудоемкость кодирования основных сведений о деталях средней сложности составляет 10—20 мин, а трудоемкость переноса закодированных данных на перфоленгу (перфокарту) 2—3 мин.

Разработка алгоритмов наиболее проста при выполнении расчетов по формулам, дающим вполне определенный конечный результат. В этом случае алгоритм представляет собой цепочку последовательно расположенных блоков, в каждом из которых выполняются арифметические действия по решению данного уравнения. Зная конкретные условия выполняемой операции, по алгоритму данного типа можно рассчитать, например, величину промежуточного припуска, режимы резания или техническую норму времени.

Более сложна разработка алгоритмов решения задач по оптимизации условий выполнения проектируемой операции. Алгоритм и в этом случае состоит из блоков, однако прямые последовательные связи между ними дополняются обратными связями и логическими блоками. При наличии определенных усло-

вий блок-схема алгоритма может получиться с большим числом ветвей-решений. Выполнение или невыполнение этих условий формирует направление и адресование ветвей к другим блокам и ветвям алгоритма. При решении задач по оптимизации технологических процессов должна быть выделена так называемая целевая (оценочная) функция. По этой функции ЭВМ из множества вариантов решения, формируемых программой, выбирает наимыгоднейший (оптимальный) вариант. Оценка вариантов технологических процессов, рассчитываемых по программе, обычно производится по минимальной себестоимости, наибольшей производительности, максимально достижимой точности и некоторым другим параметрам обработки.

Введение разумных ограничений и отбрасывание малозначимых факторов упрощает решение задачи по оптимизации и снижает затраты машинного времени.

Результаты выдаются автоматическим цифропечатающим устройством ЭВМ по форме, предусмотренной в программе. Например, технологические процессы могут печататься в виде технологических карт, форма которых соответствует рекомендациям ЕСТД. При проектировании операций обработки для станков с ЧПУ результат работы машины может быть представлен непосредственно в виде записи на программоноситель станка.

Применение ЭВМ для технологического проектирования операций обработки позволяет снизить себестоимость их выполнения на 10—15% за счет оптимизации условий изготовления. Расширение области использования ЭВМ в технологическом проектировании выдвигает необходимость дальнейшего развития научных основ технологии машиностроения. Весьма важно выявлять, накапливать, изучать теоретические, экспериментальные и практические данные, выражающие количественную зависимость точности, производительности и себестоимости обработки от различных факторов. По мере уточнения этих зависимостей и совершенствовании алгоритмов технологического проектирования будет повышаться и качество результата работы ЭВМ по разработанным программам.

§ 17. ПРИМЕНЕНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ АЛМАЗОВ И КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

Инструменты, изготовленные из синтетических алмазов, обладают высокой износостойкостью. Практика показала, что при обработке сталей алмазный инструмент в 2000 раз превосходит по стойкости абразивный, а при обработке твердых сплавов в 5000—6000 раз. Предел упругости алмазов в 2,5 раза выше, чем у карбида кремния, карбида бора и твердых сплавов, благодаря чему алмаз значительно меньше вызывает деформации и напряжения у обрабатываемых материалов.

К числу положительных качеств алмазов следует отнести их высокую химическую стойкость и антикоррозионные свойства. Однако следует отметить и некоторые недостатки алмазного инструмента, нестойкость к щелочам, селитре и в работе при температуре выше 750—800° С.

Алмазные порошки выпускают следующих марок: АСМ, АСН — зерно 1—60 мкм, применяют для изготовления абразивного инструмента, паст и суспензий, предназначенных для обработки деталей из закаленных сталей и твердых сплавов; АСО — хрупкий, самозатачивается; АСР — более прочный; АСВ — еще прочнее, для работы с большими удельными давлениями; АСК и АСЖ — прочнее АСВ и естественных алмазов; порошки АСО, АСР, АСВ, АСК, АСЖ имеют зернистость 0,04—0,63 мкм. Отечественная промышленность выпускает поликристаллические алмазы типа баллас (АСБ) и карбонадо (АСПК) с размером зерен 5—8 мм, предназначенных для изготовления резцов, фрез и другого лезвийного инструмента. Промышленностью освоен выпуск сверхтвердого материала под названием «Славутич». Этот материал используют для изготовления бурового и правящего инструмента. Для изготовления алмазного инструмента применяют органические, металлические, керамические и металлогальванические связки. Инструмент из наиболее прочных алмазных порошков марок АСК и АСЖ, предназначенный для правки абразивных кругов, делают на металлических связках М-1, МВ-2, МС-2, МС-6, которые готовят на основе оловянистых бронз и медноалюминиевых сплавов.

Абразивный инструмент из порошка марки АСО готовят на основе органических связок-пульвербакелитов Б-1, Б-2, Б-3 с добавлением наполнителя (карбида бора). Инструмент из порошка марки АСР готовят на основе металлических и керамических связок. Наиболее прочное сцепление алмазных зерен с основой дает гальваническая или плазменная металлизация. Алмазы используют для изготовления инструментов, применяемых в медицине.

Алмазный инструмент значительно превосходит по качеству обработки, производительности труда и стойкости инструмент других видов. Например, при обработке пальца из стали 20ХНЗА твердостью HRC 58 бруски с алмазным слоем в 1,5 мм имеют стойкость, обеспечивающую изготовление 18 000 деталей, т. е. превышает в 150 раз стойкость обычных абразивных брусков. Температура в зоне резания при обработке алмазными инструментами не превышает 50—70° С, чем обуславливается упрочнение обрабатываемой поверхности. Применение поликристаллических алмазов для изготовления лезвийного инструмента имеет те же преимущества. При алмазном выглаживании также происходит упрочнение обрабатываемых поверхностей.

Кубический нитрид бора (КНБ) (эльбор, кубонит) по твердости несколько уступает алмазу, но превосходит твердый

сплав. КНБ имеет высокую теплостойкость (1200—1300° С) и не требует применения смазочно-охлаждающих жидкостей. По прочности КНБ соответствует алмазным порошкам АСО и АСР. Абразивные круги из КНБ следует применять для обработки стали, а твердые сплавы, керамику и т. п. материалы рекомендуется обрабатывать алмазными кругами. КНБ рекомендуется также для заточки и шлифования инструмента из быстрорежущих сталей, деталей из конструкционных сталей, резьбы, зубьев шестерен и т. п. Поликристаллический КНБ (ПКНБ) имеет высокую теплостойкость (до 1400° С), пригоден для обработки конструкционных сталей и твердых сплавов типа ВК.

Применение в строительном и дорожном машиностроении режущего инструмента, изготовленного из синтетических алмазов и кубического нитрида бора, обеспечивает достижение высоких показателей по производительности труда и повышение эксплуатационных характеристик обрабатываемых деталей и инструмента.

§ 18. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ РЕЗАНИЕМ

Возможность и целесообразность автоматизации механической обработки резанием. Механическая обработка деталей состоит из двух основных процессов: управления и формообразования. В эти процессы включают: установку и закрепление детали, пуск станка, подвод инструмента, обработку детали, остановку станка и снятие обработанной детали.

В целях частичной или полной ликвидации тяжелого ручного труда в современном машиностроении осуществляют механизацию или автоматизацию производственных процессов. Механизацией технологических процессов называют частичную замену ручного труда процессами, осуществляемыми с помощью механических устройств, обеспечивающих выполнение основных и вспомогательных работ. Автоматизация предусматривает полную, комплексную замену ручного труда при управлении оборудованием и при его обслуживании.

Известно, что вспомогательное время по отношению к основному в машиностроении имеет значительно больший удельный вес. Поэтому одной из главных задач машиностроительного производства является снижение удельного веса вспомогательного времени при механической обработке резанием. Важной задачей следует считать снижение накладных расходов за счет автоматизации и механизации цеховых транспортных и складских операций.

Автоматизация технологических процессов, механической обработки резанием может быть полной и в этом случае она носит название комплексной автоматизации. Если автоматизация осуществляется применительно к отдельным элементам уп-

равления и обслуживания станков, ее называют малой автоматизацией, или механизацией.

Современные металлообрабатывающие станки автоматизируют, оснащая их выключающими и переключающими упорами, гидравлическими следящими системами, электромагнитными, индуктивными или фотоэлектрическими приборами активного контроля и т. п. Средствами большой комплексной автоматизации являются автоматические линии, станки с программным управлением, конвейеры и т. п.

Средствами малой автоматизации и механизации могут быть также станки-автоматы, полуавтоматы, агрегатные станки, станки с программным управлением, но не в полном комплексе, а как средства автоматизации отдельных операций. Степень автоматизации производственных процессов и ее целесообразность диктуются в основном типом производства и такими технико-экономическими показателями, как снижение себестоимости и повышение производительности труда.

Особенности автоматизации и механизации при серийном производстве. Если в массовом производстве осуществление большой комплексной автоматизации является бесспорным и необходимым мероприятием, то в условиях серийного производства требуется обоснованный выбор степени его автоматизации и механизации. Основными показателями при этом должны быть: производительность труда, себестоимость продукции, производственный цикл, качество продукции, обеспечение условий труда.

Производительность труда Π оценивается в единицах продукции, отнесенной к человеко-часу труда рабочего:

$$\Pi = \frac{1}{T} \text{ шт/человеко-час,}$$

где T — трудоемкость операции, человеко-час.

При обработке на станке однородных деталей применяют метод оценки степени автоматизации этого станка.

Коэффициент автоматизации

$$\eta = \frac{C_{ст} - T}{C_{ст}},$$

где $C_{ст}$ — время станка, затрачиваемое на единицу продукции, станко-час; T — трудоемкость операции, станко-час.

Если имеется полная автоматизация, то трудоемкость T очень мала и коэффициент η близок к единице. Анализируя различные варианты технологии обработки деталей на некоторых станках, можно выбрать наиболее рациональный.

Другим важным показателем уровня технологии является коэффициент непрерывности

$$K = \frac{T_r}{T_r + T_b},$$

где T_{τ} — технологическое время; $T_{в}$ — вспомогательное время. Величина K характеризует непрерывность обработки.

Примерами прогрессивных методов обработки могут служить непрерывное фрезерование с помощью вращающихся столов, при котором $T_{в}=0$ и $K=1$.

Следующим показателем эффективности автоматизации является технологическая себестоимость продукции C_{τ} , определяемая для различных сравниваемых вариантов технологии:

$$C_{\tau} = \left(1,15 + \frac{H}{100} \right) \frac{T_{ш}}{K_c} Z_{ст} + M_c T_{ш} + \frac{T_{п.з}}{K_3} Z_{ил}$$

где H — накладные расходы к основной зарплате без стоимости эксплуатации оборудования, но со стоимостью эксплуатации оснастки, %; $Z_{ст}$ — минутная зарплата станочника, коп.; $T_{ш}$ — штучное время на обработку детали, мин; K_c — число станков, обслуживаемых одним рабочим; M_c — минутная стоимость эксплуатации станка, коп.; $T_{п.з}$ — подготовительно-заключительное время, мин; K_3 — число деталей в партии, шт.; $Z_{ил}$ — минутная зарплата наладчика, коп.

В приведенной формуле величину Π принимают для автоматизированного производства равной 300%, а для неавтоматизированного равной 200%. Минутную стоимость эксплуатации станка рассчитывают, включая затраты на ремонт.

Целесообразность автоматизации или механизации во многом определяется сроком окупаемости капитальных вложений:

$$T_{ок} = \frac{C_k}{C_{сж} M}$$

где C_k — сумма капитальных затрат на автоматизацию процесса, коп.; $C_{сж}$ — величина снижения себестоимости деталей при новом варианте технологии; M — месячная программа деталей, шт.

При капитальных затратах на приобретение нового оборудования сроки окупаемости не должны превышать 2—3 лет, а при затратах на автоматизацию действующего оборудования — 6—8 месяцев.

Механизация транспортных операций. Механизация транспортных операций является одной из важнейших задач современного машиностроения. При массовом характере производстве межоперационные транспортные средства встроены обычно в автоматические или поточные линии. При серийном производстве эти средства могут иметь много разновидностей. В частности, в крупносерийном производстве с наличием поточно-механизированных линий транспортные средства носят специализированный характер. В мелкосерийном и единичном производствах транспортные устройства должны быть достаточно уни-

версальными, с возможностью обслуживания большой номенклатуры деталей, перемещаемых в различных направлениях.

Большая часть операций в машиностроении выполняется в механосборочных цехах. Поэтому рассмотрению подлежат транспортные средства механосборочных цехов. Наиболее универсальным видом подъемно-транспортных средств для различных типов производства (на механических и сборочных участках) являются электрические подъемники (электротали). Наиболее распространенными конструкциями этих устройств являются электротали, выпускаемые в восьми исполнениях. Модели электроталей с первой до восьмой имеют грузоподъемность 1250—75 000 Н, высоту подъема 4—18 м, ручная скорость передвижения до 100 м/мин.

Электротали можно применять для перемещения деталей между станками при выполнении различных операций. Их успешно используют также при сборке. Для тех же целей можно использовать пневматические двухцилиндровые полиспастные подъемники, выпускаемые в нашей стране в двух исполнениях. Один грузоподъемностью до 4 кН, высотой подъема до 5 м, другой — грузоподъемностью 5 кН и высотой подъема до 3 м.

Пневматические подъемные устройства имеют те же функциональные характеристики (кроме высоты подъема), что и электрические, но у них большая плавность хода и бесшумность работы. Однако они более чувствительны к влажности и температуре окружающего воздуха.

Следующим видом транспортных устройств, применяемых преимущественно при сборочных операциях, являются рольганги. Расположение этих механизмов в цехе целиком зависит от технологии сборочного процесса. Большой частью рольганги работают в комплексе с другими механизмами и принадлежностями. Их изготавливают в однорядном и двухрядном исполнениях. В первом случае они способны перемещать собираемые узлы массой до 850 кг, а во втором массой до 1500 кг. Для облегчения перемещения тяжелых узлов иногда рольганги устанавливают в наклонном (под углом 2—4°) положении.

К числу универсальных транспортных средств, пригодных для механических, сборочных и других участков машиностроительного производства, относятся тележки и автокары. Тележки изготавливают в безрельсовом и рельсовом исполнениях, с колесами, имеющими металлические или резиновые ободья. При необходимости загрузки тележек грузами массой до 1000 кг их изготавливают с гладкими катками, а при больших нагрузках ободья колес выполняют в виде реборд для рельсовых путей. Рельсы в этом случае укладывают на бетонных основаниях. При перемещении малогабаритных узлов рельсовые пути для тележек укладывают на небольших эстакадах высотой 700—800 мм.

Наиболее прогрессивным видом транспортных средств при сборочных процессах в машиностроении являются конвейеры.

Их подразделяют на транспортные и сборочные. Транспортные конвейеры подразделяют на передающие и комплектовочные. Те и другие выполняют с ручным и механизированным перемещением. Последние изготавливают в виде грузонесущих, грузотянущих, толкающих устройств и устройств с автоматическим адресованием.

Сборочные конвейеры изготавливают с непрерывным и периодическим движением рабочего органа. Конвейеры непрерывного типа бывают такелажными, ленточными и пластинчатыми. Такелажные конвейеры подразделяют на горизонтально-замкнутые, вертикально-замкнутые и подвесные с автоматическим адресованием. Конвейеры периодического действия имеют две основные разновидности: с принудительным и свободным темпом. Первая разновидность — это конвейеры карусельные, шагающие (рамные), тележечные, в том числе горизонтально-замкнутые и вертикально-замкнутые. Во вторую разновидность входят тележечные конвейеры на воздушной подушке и с гидростатическими направляющими.

Широкая номенклатура конструкций позволяет производить рациональный выбор конвейеров для всех видов работ. Конвейеры применяют не только в механосборочных цехах для перемещения грузов между операциями обработки и сборки, но и в заготовительных цехах (кузнечно-прессовых, литейных и т. п.). Это позволяет с большим успехом решать проблемы механизации и автоматизации производства и резко повышать производительность труда.

Глава 2

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

§ 1. ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА

В строительном и дорожном машиностроении электроэрозионная обработка может найти широкое применение для изготовления ковочных штампов, деталей с фасонными полостями, пуансонов, пресс-форм, оснастки из твердых сплавов и т. п.

Способ электроэрозионной обработки основан на физическом явлении, при котором один или оба электрода разрушаются под действием проходящего между ними электрического импульсного разряда, когда на их поверхности появляются лунки в результате локального нагрева электродов до температуры плавления и выброса расплавленного металла. При многократном повторении импульсов инструмент внедряется в заготовку, образуя углубление, являющееся отпечатком инструмента.

Существует несколько разновидностей электроэрозионной обработки: электронскровая, электроимпульсная и высокочастотная электронскровая. При электронскровой обработке происходит электрический разряд между сближаемыми электродами в среде диэлектрической жидкости. Температура в проводящем канале достигает десятков тысяч градусов. В результате воздействия такой температуры у основания канала происходит разрушение металла.

Метод электронскровой обработки позволяет обрабатывать детали с $Ra=1,25\div 0,32$ мкм. Обработанная поверхность требует абразивной доводки. Применяют этот метод для обработки деталей небольших размеров, изготовления сит, извлечения сломанных инструментов или крепежа из заготовок, для обработки отверстий малого диаметра. Значительный износ электродов-инструментов ограничивает технологические возможности электронскрового метода.

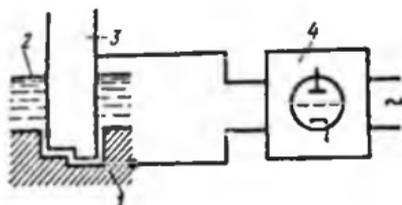
При электроимпульсной обработке применяют унipoлярные импульсы тока длительностью 500—1000 мкс. Этот вид обработки отличается высокой производительностью и малым износом электродов-инструментов. Применяют ее для обработки деталей из сталей и труднообрабатываемых сплавов больших объемов и сложной формы. Например, экономически выгодно этим способом изготавливать пресс-формы, формы для литья, ковочные штампы. Трудоемкость изготовления таких деталей сокращается в 1,5—2 раза по сравнению с механической обработкой. Качество поверхностей, обработанных на электроимпульсных установках, невысоко.

Для высокочастотной электроэрозионной обработки применяют специальные импульсы малой энергии и высокой частоты. Малая энергия импульсов обеспечивает шероховатость обрабатываемых поверхностей деталей, соответствующую $Ra=0,20$ мкм, а высокая частота следования импульсов повышает производительность в 30—50 раз по сравнению с электронскровой обработкой.

При высокочастотной электроэрозионной обработке на обрабатываемой поверхности отсутствуют микротрещины, детали можно обрабатывать с допуском 1—3 мкм, электрод-инструмент изнашивается мало. Обработку можно осуществлять на обычных электроэрозионных станках, снабженных генератором-приставкой ГИТ-1 и др. В качестве электролита применяют керосин или воду.

Электроэрозионную обработку (рис. 114) применяют при резке заготовок диском, прошивании отверстий с криволинейной осью, гравировании, затачивании инструментов, шлифовании, профилировании твердосплавного инструмента и т. п. Электроэрозионную обработку применяют также для поверхностного упрочнения режущих частей инструмента. Упрочнение происхо-

Рис. 114. Схема
высокочастотной
электроэрозионной обработки;
1 — обрабатываемая деталь; 2 —
электролит; 3 — электрод-инстру-
мент; 4 — генератор импульсов



дит за счет теплового и термохимического воздействия электрического разряда на деталь, включенную в цепь в качестве катода.

§ 2. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Электрохимическая обработка основана на явлении химического растворения анода в электролите при прохождении электрического тока через цепь и осаждения перешедшего в раствор металла на катоде. В зависимости от места установки обрабатываемой детали (на катоде или аноде) можно осуществлять различные процессы. Так, при установке обрабатываемой детали на катоде и применении анода из соответствующего металла можно осуществлять процессы гальванического антикоррозионного покрытия изделий цинком, медью, хромом, никелем, оловом и другими металлами.

При установке детали на аноде можно выполнять операции прошивки отверстий (рис. 115), калибрования отверстий, удаления заусенцев, производить размерную обработку, электрополирование, операции очистки поверхности изделия от окалины, ржавчины и других загрязнений (анодное травление), гравирование, маркирование сеток из тонколистового материала, заострение и затачивание инструмента и другие операции.

Формообразование деталей осуществляется по следующей схеме. Поверхность заготовки, подвергаясь электрохимическому растворению, получает на различных участках разную плотность тока в соответствии с расстоянием от профильного катода. В результате растворение происходит с разной скоростью на различных участках и приводит к образованию негативной формы катода.

В качестве электролитов чаще всего применяют водный раствор хлористого натрия (поваренной соли), водные раство-

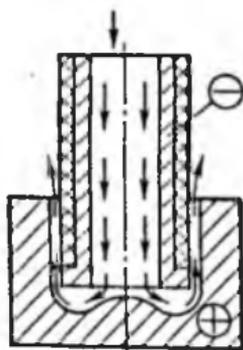


Рис. 115. Схема электрохимического прошивания
отверстий

ры серной кислоты, растворы сернокислого натрия и др. Электрохимическую обработку производят на автоматических или полуавтоматических установках ЭХО-1А, ЭХО-2, АГЭ2, МС-50 и др. Шероховатость обработанной поверхности зависит от материала и параметра $Ra=1,25\div 0,32$ мкм. С увеличением производительности качество обработки повышается.

§ 3. АНОДНО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Анодно-механической обработкой называют способы обработки со снятием металла с заготовки, основанные на одновременном воздействии на металл электрохимических или электроэрозионных процессов и механическом удалении продуктов разрушения. Различают чистовую и черновую анодно-механическую

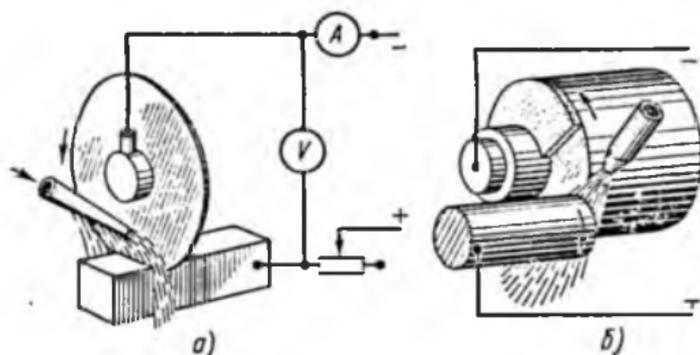


Рис. 116. Схемы анодно-механической обработки:
а — черновой; б — чистовой

обработку, которые по условиям протекания процесса близки друг к другу и отличаются тем, что при значительном повышении плотности тока или напряжения анодно-механическое разрушение обрабатываемого металла дополняется эрозионным воздействием многочисленных тепловых очагов.

В результате совмещения эрозионного воздействия с электрохимико-механическим разрушением резко увеличивается производительность, но понижается чистота обработки. Главным образом анодно-механическую обработку применяют при разрезании металла с помощью диска или бесконечной металлической ленты, затачивании режущего инструмента, точении и прошивании полостей и отверстий, грубом шлифовании, электрохинговании.

Разновидностью чистовой анодно-механической обработки является электроабразивная и электроалмазная обработка. Отличительной особенностью электроабразивной обработки явля-

ется применение вместо металлических дисков токопроводящих абразивных кругов для снятия слоя продуктов раствора с заготовки. Абразивные круги изготовляют из смеси абразивных зерен с металлическими порошками или графитом.

При электроалмазной обработке в качестве инструмента применяют алмазно-металлические круги, представляющие металлическую основу с нанесенными на рабочую поверхность алмазными зернами. Анодно-механическая обработка (рис. 116) характеризуется высокой производительностью при шероховатости поверхности $Ra=80\div 40$ мкм на жестких режимах и шероховатости поверхности $Ra=0,16\div 0,80$ мкм на мягких режимах при небольшой производительности.

§ 4. ЭЛЕКТРОКОНТАКТНАЯ ОБРАБОТКА

Электроконтактная обработка металлов заключается в нагреве или расплавлении обрабатываемой поверхности электрическим током и механическом удалении или уплотнении слоя размягченного металла. Этот процесс один из наиболее производительных процессов электротехнологии. Наиболее эффективно его использование на черновых и получистовых операциях обработки заготовок из труднообрабатываемых сплавов (обдирке, очистке, фрезеровании, сглаживании, посадке, упрочнении и др.).

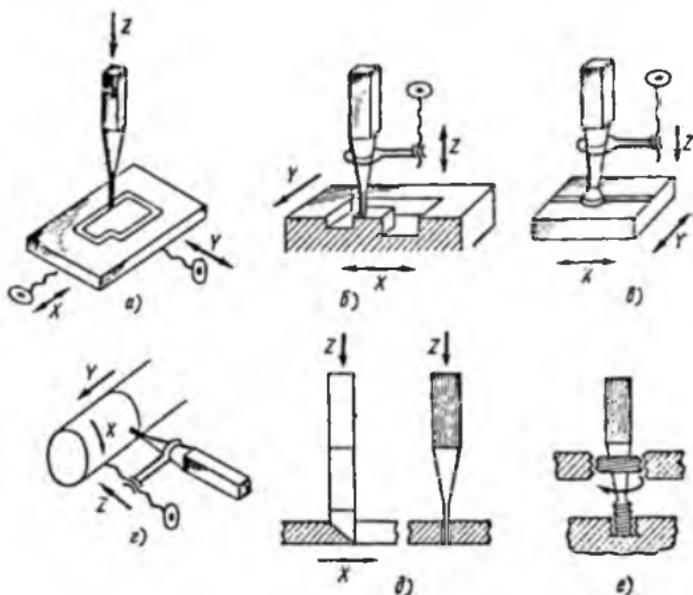
Достоинствами этого процесса являются высокая производительность, применение несложного обрабатывающего инструмента, проведение обработки без применения жидких сред. Один из основных недостатков процесса — большие значения параметров шероховатости обработанной поверхности.

§ 5. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА

Ультразвуковой обработкой называют большую группу технологических процессов, осуществляемых в присутствии механических упругих колебаний с частотой выше 16—18 кГц, причем в одних случаях ультразвуковые колебания служат средством интенсификации процессов (интенсификации химических, электрохимических процессов и др.), в других — их непосредственно используют для осуществления рабочей операции (размерная обработка твердых сплавов). Для осуществления рабочей операции под поверхность вибрирующего с ультразвуковой частотой инструмента подают воду или масло со взвешенными в них абразивными частицами. Частицы абразива ударяются о поверхность обрабатываемой детали и откалывают от нее частицы металла. Кроме того, вследствие явления кавитации происходит интенсификация отслоения частиц металла. Продукты обработки удаляются с жидкостью, циркулирующей в зоне обработки. В результате под инстру-

ментом образуется углубление, соответствующее форме и размеру инструмента.

Обрабатываемая заготовка принудительно перемещается в направлениях X , Y , инструмент подается в направлении Z (рис. 117). Производительность процесса ультразвуковой размерной обработки зависит от амплитуды и частоты колебаний,



Схемы ультразвуковой размерной обработки:

а, б — фрезерование; в — шлифование; г — точение; д — резка; е — нарезание резьбы

давления инструмента на заготовку, размера абразивных зерен, концентрации суспензии и др. Рекомендуют принимать амплитуду колебаний, равную 20—60 мкм, частоту колебаний 16—30 кГц. В качестве абразива применяют карбид бора зернистостью № 90—120. Максимальная производительность (7,5—12,5 Н/см²) достигается при давлении 75—125 кН/м².

Инструмент изготавливают из стали 40, 45, 50. При ультразвуковой обработке можно получать детали с шероховатостью поверхности $Ra=1,25\div 0,32$ мкм, 7—9-й квалитетов точности. Процесс осуществляют на станках 4770, 4772, 4773, МЭ-22, УЗМ-5М и др. Широко ультразвук используют при очистке деталей, изготовлении эмульсий, суспензий, сварке, пайке, плавке и заливке металлов, для интенсификации гальванических процессов и др.

§ 6. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА

Инструментом при электронно-лучевой обработке служит остросфокусированный пучок электронов, движущихся с большой скоростью. Пучок электронов (электронный луч,) ускоренный разностью потенциалов между анодом и катодом, попадая на обрабатываемую деталь, вызывает интенсивный разогрев поверхности, при котором частицы металла плавятся или испаряются. В результате образуются отверстия или углубления. При электронно-лучевой обработке можно получать отверстия и пазы в деталях из твердых сплавов размером до 10 мкм.

Кроме размерной обработки электронно-лучевой способ применяют для оплавления поверхностного слоя металла при заливке трещин, образующихся при закалке, для упрочнения закаленной поверхности после заточки и шлифования, для сварки, напыления защитных пленок металлических и неметаллических материалов.

§ 7. ОБРАБОТКА СВЕТОВЫМ ЛУЧОМ

Сущность обработки этим методом заключается (так же, как и при электронно-лучевой обработке) в мгновенном нагреве, расплавлении и испарении малого участка заготовки, на который направлен световой луч. Световой луч большой концентрации энергии формируется следующим образом. Под воздействием внешнего источника энергии (например, импульсной спиральной лампы-вспышки) атомы активного вещества, являющегося источником излучения (например, рубинового стержня), возбуждаются и при переходе с верхнего или промежуточного энергетического уровня на основной стимулируются внешней силой, например, электромагнитной волной. При этом создаются условия для одновременного излучения света атомами. Если этому мощному световому потоку придается импульсный режим и поток фокусируется в очень тонкий пучок, то обеспечивается большая концентрация энергии в луче. Световым лучом производят операции сварки различных металлов, пробивки отверстий, в том числе в твердых сплавах, создают светогидравлический эффект и др.

Недостатком современных оптических квантовых генераторов, применяемых для обработки материалов световым лучом, является их низкий КПД.

Электрофизические и электрохимические способы обработки применяются на некоторых заводах строительного и дорожного машиностроения. Процессы ультразвуковой очистки деталей гидросистем применяются на киевском ордена Трудового Красного Знамени заводе «Красный экскаватор», Ленинградском экскаваторном заводе, моголевском ордена Трудового Красного Знамени заводе «Строммашина» имени 50-летия Великого Октября и на других заводах.

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Основными видами приспособлений для механической обработки и сборки являются станочные и сборочные приспособления. Эти приспособления проектируют с таким расчетом, чтобы обеспечить максимальное сокращение ручного труда, повышение производительности оборудования, необходимое качество обработки и сборки.

Существуют приспособления для установки и закрепления рабочего инструмента, сборки деталей машин, контроля деталей, установки, закрепления и перемещения деталей или сборочных единиц машин в процессе обработки.

В зависимости от типа производства приспособления проектируют универсальными, специализированными или специальными. Универсальные приспособления (тиски, делительные головки, патроны, призмы и т. п.) применяют для обработки разнотипных деталей. Специализированные приспособления используют при обработке различных однотипных деталей. Специальные приспособления предназначены для использования на одной операции при обработке определенных поверхностей конкретной детали. Особое место в серийном производстве занимают универсально-сборные приспособления, которые состоят из нормализованных или стандартизированных элементов, что определяет их высокую эффективность в технико-экономическом отношении.

§ 2. УСТАНОВОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Основные методы базирования и установки деталей описаны в гл. I раздела III книги. Для обеспечения точности обработки деталей главным условием придания заготовке необходимого положения на станке относительно режущего инструмента является выбор вида установочных элементов и характера их расположения в приспособлении.

На рис. 118 показаны разновидности опор приспособлений. При необходимости установок на черновые базы используют

опоры, показанные на рис. 118, а, при наличии обработанных баз применяют опоры, приведенные на рис. 118, б.

Широко применяют подвижные опоры (рис. 119), приводимые в движение поворотом специальных маховичков. На рис. 119, а показано устройство, позволяющее устанавливать опору 2 в требуемое положение с помощью клина 1, винта 5, со-

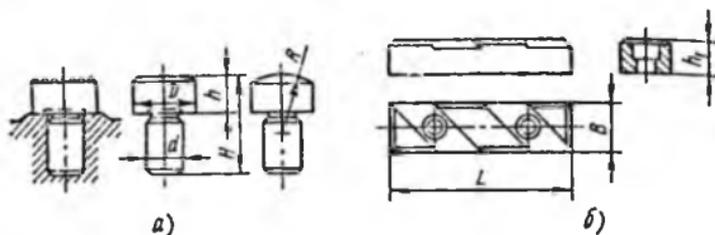


Рис. 118. Неподвижные опоры

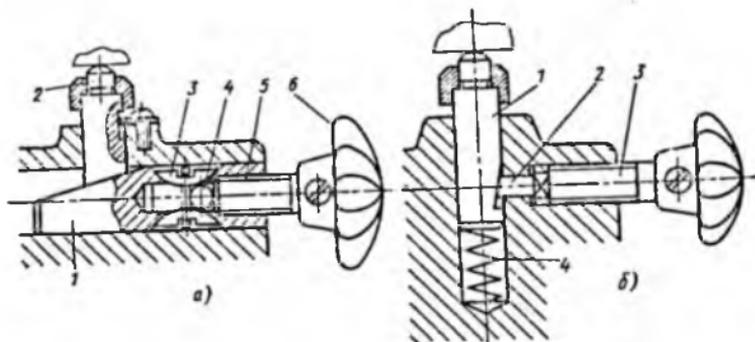


Рис. 119. Подвижные опоры

вершающего поступательное движение при вращении маховичка 6. При касании опоры 2 базовой поверхности она фиксируется расклиниванием сегментных шпонок 3 шариком 4, при котором винт 5 останавливается, удерживая клин 1.

Другой тип подвижной самоустанавливающейся опоры изображен на рис. 119, б. В этой конструкции пружина 4 воздействует на опору через стержень 1. При достижении опорой базовой поверхности ее фиксируют винтом 3, поворачивая маховичок. Для предотвращения выскакивания стержня 1 из своего гнезда на нем делают лыску, в которую входит поперечный стержень 2, постоянно поджимаемый винтом 3. Для установки тел вращения цилиндрической формы широко используют опоры типа призм.

При необходимости установки обрабатываемой детали на чистовые базы используют призмы с широкими щеками, а при установке на черновые базы — призмы с узкими щеками. Универсальным методом, пригодным для установки деталей на черновые и чистовые базы, является установка в призмы, оснащенные четырьмя шипами, которые закреплены в щеках этих призм.

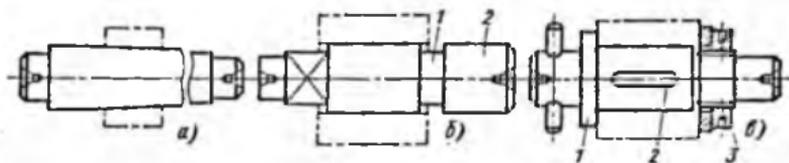


Рис. 120. Жесткие оправки

Если при обработке деталей за базу приняты отверстия, то следует в качестве установочных элементов применять специальные оправки, которые выполняют жесткими или разжимными. Жесткие оправки имеют три разновидности: коническую (рис. 120, а), цилиндрическую (рис. 120, б), на которую деталь насаживают с натягом, и третью, на которой деталь закрепляется специальными устройствами (рис. 120, в). Коническая оправка имеет небольшую конусность ($1/1500$ — $1/2000$), благодаря которой обрабатываемая деталь прочно удерживается на ней.

На оправки второго типа детали устанавливают с определенным натягом. Для обработки торцовых поверхностей детали на оправке должны быть предусмотрены выточки 1. Поверхность оправки 2 является направляющей.

Оправки с закрепляющими устройствами фиксируют обрабатываемую деталь с помощью шпонки 2 или гайки 3, причем одним своим торцом деталь упирается в бурт 1.

Разжимные оправки (рис. 121) имеют более сложную конструкцию и применяются в основном в серийном или массовом производстве. Оправки первого типа (рис. 121, а) имеют разжимное устройство, состоящее из упорной гайки 1, цанги 3, имеющей продольные разрезы, конуса 4 и фиксирующей гайки 5. Обрабатываемая деталь 2 своим отверстием надевается на разжимное устройство, которое путем поворота гайки 5 обеспечивает фиксацию этой детали. Консольная оправка крепит деталь с помощью вращения конуса, имеющего на конце стержень с резьбой.

Оправка с разжимными вкладышами (рис. 121, в) основана на том же принципе, что и предыдущая, но ее конус 2 воздействует на три вкладыша 1, которые упираются в обрабатываемую деталь. Оправка с упругой гильзой (рис. 121, г) основана на разжиге винтом 3 гидропласта 1, который, действуя

на гильзу 2, обеспечивает ее прижим к детали. Гидропласт, состоящий из дибутилфталата, поливинилхлорида и стеарата кальция, является весьма ценным материалом, обладающим требуемыми свойствами для указанных целей, причем в этом случае обеспечивается самая высокая степень concentричности по сравнению с другими разжимными устройствами.

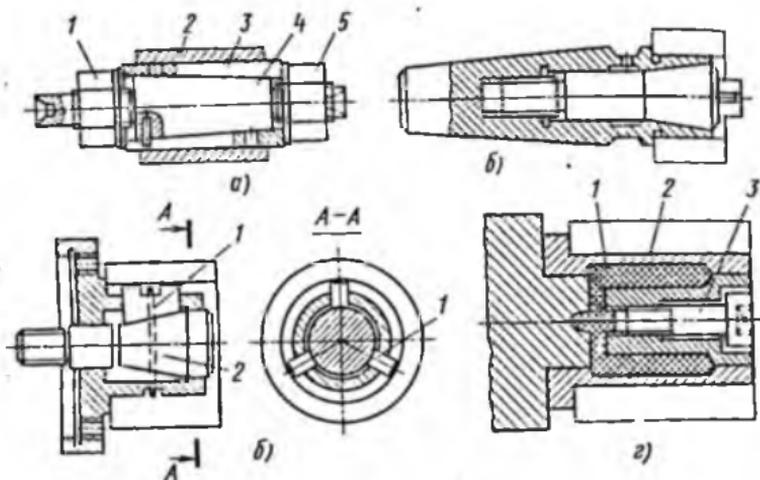


Рис. 121. Разжимные оправки:

а — цапговая; б — консольная; в — консольная с разжимными вкладышами; г — центровая с упругой гильзой

Установочными элементами, используемыми преимущественно в стационарных приспособлениях, являются консольные пальцы. Консольные пальцы применяют как постоянные, так и сменные.

При обработке крупных деталей типа рам, корпусов и т. п. деталь устанавливают на два пальца, один из которых имеет цилиндрическую форму, а другой — ромбическую, что обеспечивает возможность установки и определенную точность обрабатываемой заготовки.

При наличии в заготовках центровых гнезд или конических фасок целесообразным является применение в качестве установочных элементов центров станка или приспособления. Разновидности установочных центров приведены на рис. 122. В поводковом центре с рифлениями устанавливают базовую поверхность детали; плавающий центр обеспечивает точную установку деталей в осевом направлении.

При необходимости точной установки в пространстве применяют метод фиксации детали с помощью трех и четырех центров, из которых два жестких и два выдвижных. При обра-

ботке деталей сложной конфигурации, например зубчатых колес, установочные элементы приспособлений имеют следующие варианты конструктивного решения: ролики (рис. 123, а), шарики (рис. 123, б), детали, выполненные в виде зубчатых

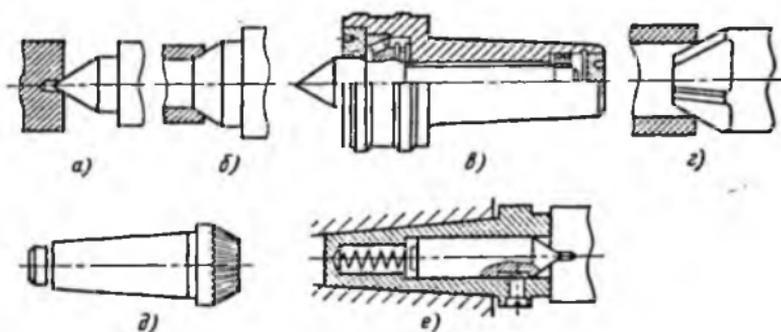


Рис. 122. Центры для крепления детали:
 а — обычный; б — с конической фаской; в — вращающийся; г — граненый;
 д — с рифлениями; е — плавающий

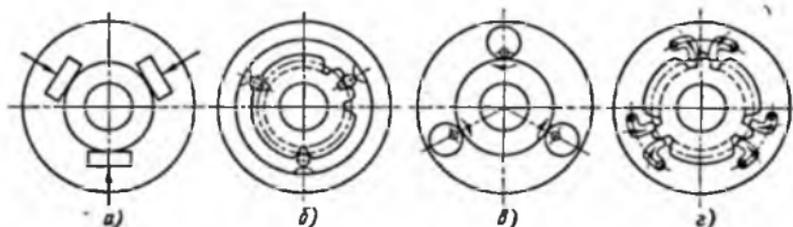


Рис. 123. Схемы установок зубчатых колес

секторов (рис. 123, в), и элементы, имеющие конструкцию качающихся рычагов (рис. 123, г). Выбор того или иного варианта зависит от размеров зубчатого колеса и требуемой точности его изготовления.

§ 3. ЗАЖИМНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Правильный выбор метода закрепления и конструкции зажимного устройства при обработке детали во многом определяют точность изготовления детали, производительность оборудования и обеспечение требований техники безопасности. Наиболее распространен способ крепления деталей винтовыми устройствами: зажимными винтами (рис. 124, а) и прихватами (рис. 124, б). Во избежание больших сил, действующих на закрепляемую деталь, зажимные винты оснащают специальными

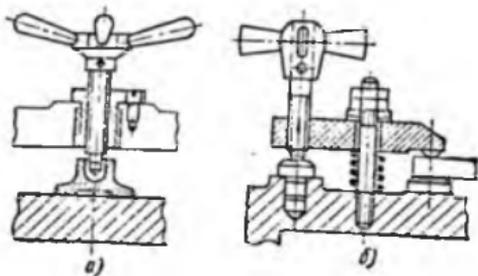


Рис. 124. Зажимы.

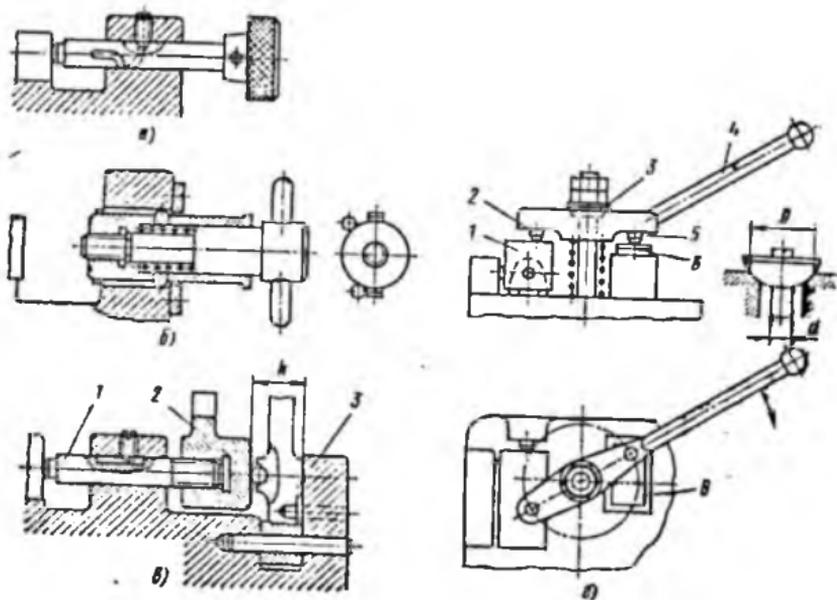


Рис. 125. Быстросействующие зажимные устройства

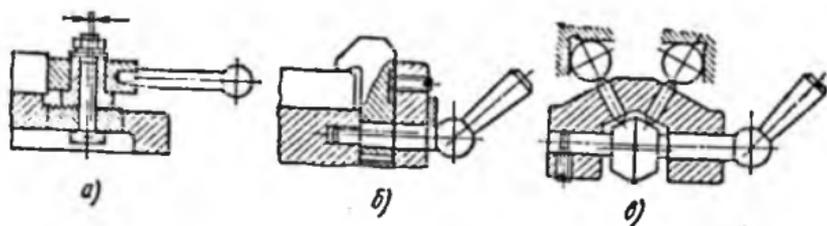


Рис. 126. Эксцентриковые зажимы

башмаками, имеющими значительно большую опорную площадь, чем торец винта. Конструкция винтового прихвата, изображенного на рис. 124, б, представляет собой комбинированное устройство, состоящее из винта, рычага и крепежной щеки. Эта конструкция может иметь и другие разновидности, пригодные для крепления деталей различной конфигурации.

Иногда технология обработки деталей требует применения быстродействующих зажимов, различные конструкции которых приведены на рис. 125. На рис. 125, а показано штыковое устройство, применяемое для создания сравнительно небольших сил зажима. На рис. 125, б приведена конструкция устройства плунжерного типа, где возможно достижение больших сил для закрепления деталей. Метод зажима детали с откидным упором показан на рис. 125, в. Поворотом рукоятки 2, имеющей внутреннюю резьбу, отводится упор 3, поворачиваясь вокруг своей оси, и ослабляется зажимной стержень 1.

Рычажное быстродействующее устройство показано на рис. 125, г, при вращении рукоятки 4 вокруг своей оси приводится в движение штифт 5, который перемещается по косому торцу планки 6, а штифт 2 движется по детали 1 и прижимает ее к боковым упорам, находящимся под ней. Шайба 3 имеет сферическую форму и тем самым выполняет функцию шарнира.

Широко распространены в производстве быстродействующих эксцентриковые зажимы, показанные на рис. 126. Эти зажимы имеют следующие конструктивные разновидности: дисковый (рис. 126, а), цилиндрический с прихватом (рис. 126, б) и плавающий конический (рис. 126, в). Приведенные типы зажимов являются надежными и полностью оправдывают название быстродействующих.

Значительное распространение при обработке тел вращения получили зажимные устройства с базированием по наружным или внутренним поверхностям деталей. К этим устройствам относятся цанги, специальные оправки, имеющие разжимные элементы, и патроны с мембранами (рис. 127). Зажим с помощью цанг осуществляется натяжной (рис. 127, а) и распорной (рис. 127, б) трубками. Кроме того, цанговый зажим может быть при необходимости и вертикального исполнения (рис. 127, в). Угол α конуса цанги следует принимать равным $30-40^\circ$.

Принцип действия патрона с мембраной основан на упругих свойствах последней. Мембрана 1 (рис. 128) закреплена на планшайбе станка и имеет от 6 до 12 кулачков 2, число которых выбирают в зависимости от диаметра детали. Эти кулачки охватывают обрабатываемую деталь 3. Управление этим зажимным устройством осуществляется с помощью штока гидроцилиндра 4, который при включении оказывает давление на мембрану и она, обладая упругостью, производит разжим кулачков. При необходимости закрепления детали 3 в кулачках 2 шток гидроцилиндра 4 перемещается влево.

К числу широко применяемых конструкций следует отнести также реечные зажимы, действующие совместно со специальными замками. Принцип действия таких зажимов виден из схемы, приведенной на рис. 129. Обрабатываемая деталь 1 зажимается

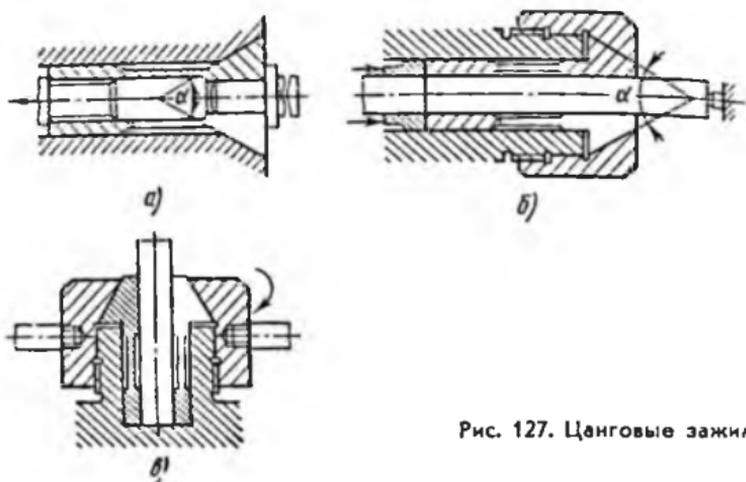


Рис. 127. Цанговые зажимы

мается губкой 2, закрепленной на зубчатой рейке 3, приводимой в движение шестерней 5, находящейся на валу 4. Вал 4 вращается рычагом 6 путем его поворота. Для получения требуемой силы зажима детали 1 необходимо не только приложение силы P к рычагу 6, но и фиксация этой силы.

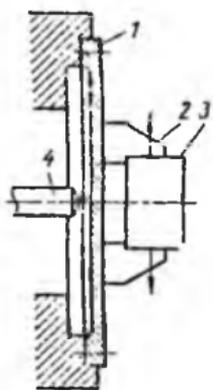


Рис. 128. Патрон с мембранной

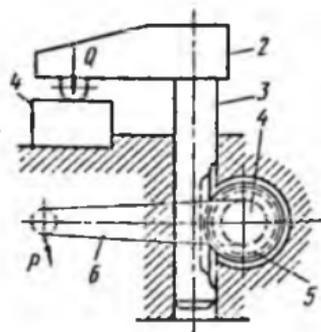


Рис. 129. Рычажный зажим с рейкой

Для стабилизации силы в конструкцию описанного приспособления вводят дополнительно еще один узел, именуемый замком. Роликовый замок (рис. 130, а) имеет разрезное кольцо 3, в котором помещен ролик 1. Детали охватывают вал 2 с лыс-

кой, на котором насажено реечное колесо. Кольцо 3 приводится во вращение рукояткой. Реечный зажим фиксируется с помощью замка за счет стопорения ролика 1 лыской вала 2 и внутренней поверхности корпуса 4. При необходимости больших сил фиксации число роликов увеличивают до трех, располагая их равномерно по окружности.

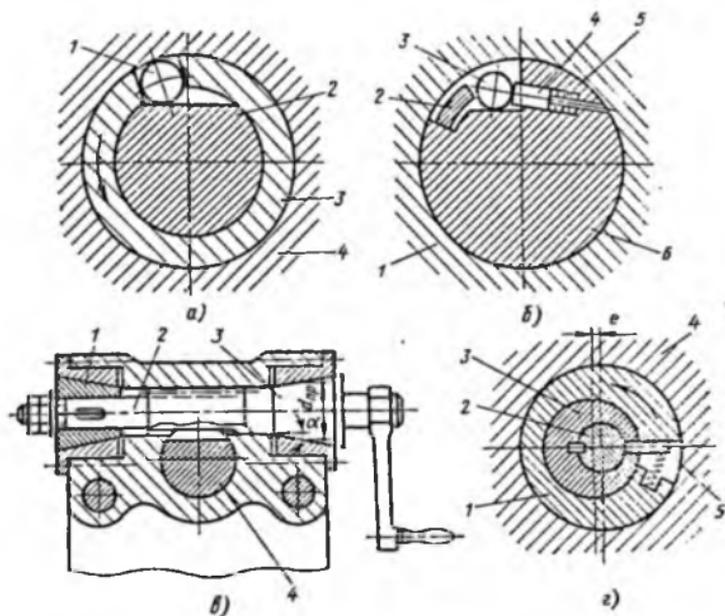


Рис. 130. Конструкции замков

В другой разновидности роликового замка (рис. 130, б) ролик 3 прижат стержнем 4 и пружиной 5. Вал 6, находящийся в корпусе 1, получает вращение от рукоятки реечного зажима. Фиксация зажима производится с помощью указанного выреза на валу 6, а также при действии рукоятки 2 и фасонного выреза на валу 6.

Конические замки (рис. 130, в) работают от вала 2, имеющего два конуса 1 и 3. Кроме того, на середине вала 2 расположены спиральные зубья, находящиеся в зацеплении с рейкой 4, которая осуществляет требуемый зажим деталей.

Конструкция эксцентрикового зажима (рис. 130, г) основана на действии эксцентрика 3, насаженного на вал 2 реечного колеса, который вращается кольцом 1, приводимым в движение рукояткой. Вращение кольца происходит внутри корпуса 4, причем ось последнего находится от оси вала на расстоянии, рав-

ном величине эксцентриситета e . При вращении рукоятки в обратную сторону движение вала происходит при воздействии на него штифта 5. При фиксации зажима кольцо 1 стопорится между эксцентриком 3 и корпусом 4.

При необходимости увеличения силы зажима, изменения их направлений или наличия нескольких точек приложения этих

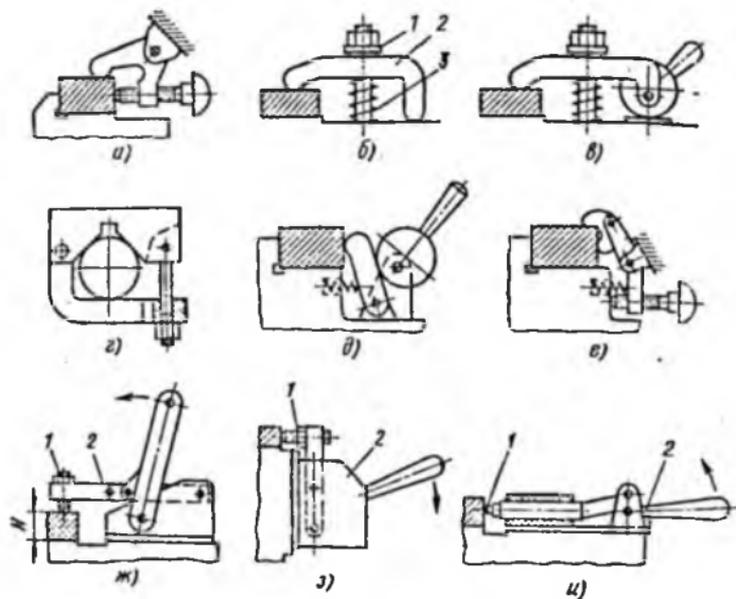


Рис. 131. Комбинированные зажимы

сил возникает необходимость в применении комбинированных зажимных устройств (рис. 131). Комплекс фасонного рычага и винта (рис. 131, а) обеспечивает крепление обрабатываемой детали в двух точках с возможностью регулирования до необходимых пределов сил зажима. Зажим, показанный на рис. 131, б, является комбинацией рычага 2 с винтом 3, однако при специфической форме первого этот зажим имеет шайбу 1 сферической формы, чем предупреждает возникновение в винте 3 изгибающих усилий.

Устройство, приведенное на рис. 131, в, состоит из фасонного рычага и эксцентрика, в котором заложены преимущества быстрого действия и возможность регулировать усилия зажима за счет изменения длины рабочего рычага.

Закрепление цилиндрической детали в призме осуществляется в зажимном устройстве, конструкция которого видна из схемы рис. 131, г. Здесь действует накладной рычаг, фиксируемый

винтом. На рис. 131, *д* показана схема действия комбинированного зажима, состоящего из рычага и эксцентрика. Аналогичные условия закрепления детали достигаются устройством, приведенным на рис. 131, *е*, где фиксацию обеспечивает рычаг с фасонными губками и винтом. На рис. 131, *з*, и приведены конструкции шарнирных типов зажимных устройств, приводимых в действие поворотом рабочих рукояток. Для устранения самоот-

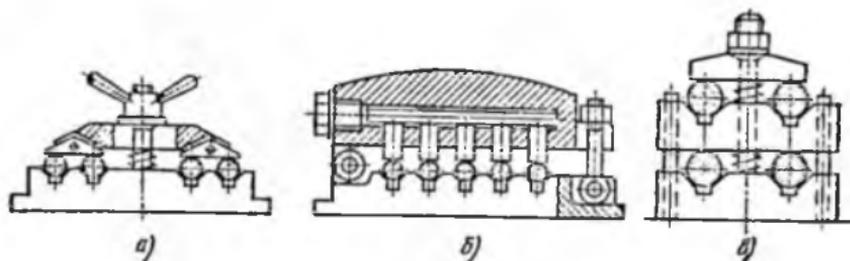


Рис. 132. Зажимные конструкции для многоместных приспособлений

винчивания зажимных устройств рукоятки этих узлов поворачиваются до упоров 2. Зажимные винты 1 в этих конструкциях могут регулировать деформацию системы, чем определяется сила зажима.

Применение многоместных приспособлений обеспечивает повышение производительности труда. Однако зажимные устройства этих приспособлений должны обеспечивать надежное закрепление группы обрабатываемых деталей. Зажимное устройство с параллельным распределением силы зажима приведено на рис. 132, *а*. Это устройство действует от затяжки гайки, оснащенной двумя рычагами для ее поворота. Для обеспечения равномерности распределения силы зажима обрабатываемых деталей в верхней части приспособления применяют специальные эластичные материалы-заполнители, например, резину или гидропласт (рис. 132, *б*). Зажимное устройство параллельно-последовательного типа показано на рис. 132, *в*.

При необходимости механизации и автоматизации производственных процессов следует применять зажимные устройства непрерывного действия. На рис. 133, *а* изображена конструкция с гибким элементом 1 типа троса, цепи или ленты, служащими для фиксации деталей 2 при обработке их торцов на барабанно-фрезерном станке, а на рис. 133, *б* — конструкция приспособления для закрепления деталей типа поршней при обработке их на горизонтально-сверлильных станках.

Кроме этого, созданы другие конструкции приспособлений, зажимные элементы которых приводятся в действие от посторонних источников энергии.

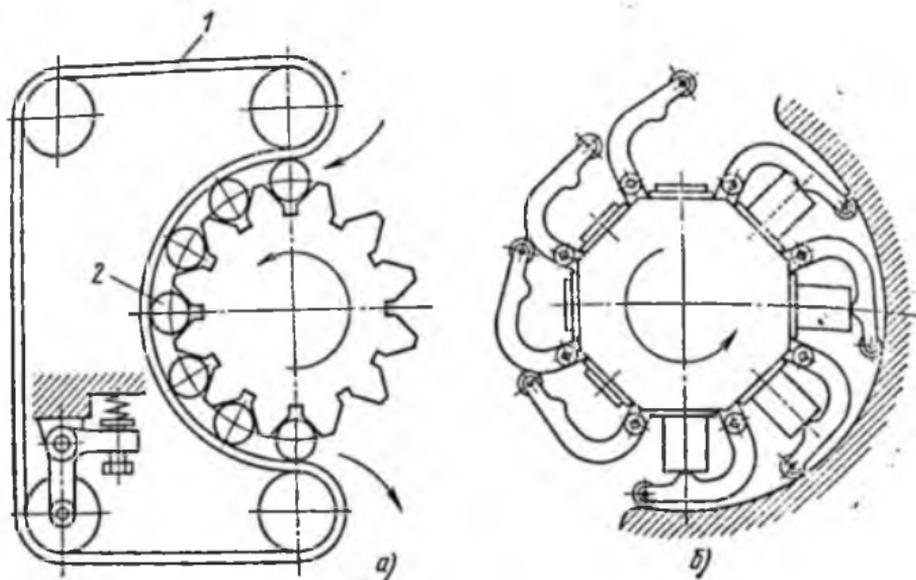


Рис. 133. Зажимные конструкции непрерывного действия

Приведенные примеры закрепления деталей при их обработке не исчерпывают всех возможных конструктивных решений, однако они могут рассматриваться как типовые и в каждом конкретном случае их следует только несколько изменять в соответствии с заданными условиями обработки.

§ 4. ДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Для обеспечения требуемого положения обрабатываемой детали относительно режущего инструмента применяют различные делительные приспособления. Основой такого рода приспособлений являются фиксаторы. На рис. 134, а изображен шариковый фиксатор, в котором шарик при повороте диска под действием пружины попадает в соответствующее гнездо. Фиксатор, оснащенный цилиндрическим подпружиненным пальцем, приведен на рис. 134, б. На рис. 134, в показан фиксатор с коническим концом подпружиненного пальца, а на рис. 134 г — этот же фиксатор, но дополнительно оснащенный втулкой из гидропласта Г. Фиксатор клинового типа изображен на рис. 134, д. Выбор того или иного типа фиксатора диктуется условиями точности. Наибольшую точность обеспечивают фиксирующие устройства, показанные на рис. 134, в—д.

Делительные устройства зачастую встраивают в другие приспособления, например, кондукторы; этим обеспечиваются требуемые межцентровые расстояния при сверлении отверстий. Делительные приспособления широко применяют и при других

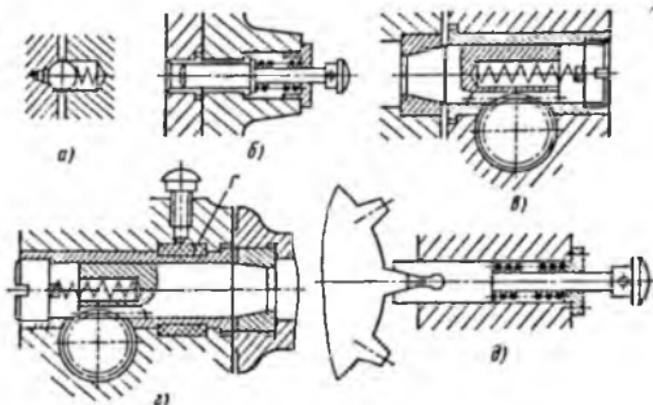


Рис. 134. Конструкции фиксаторов

видах обработки (фрезеровании, точении, и т. п.) и соответственно входят в комплекс других приспособлений. Но во всех случаях основой таких конструкций должны быть фиксирующие устройства.

§ 5. УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Научно-технический прогресс выдвигает новые требования к технологии машиностроения, к числу которых относятся вопросы качества обработки деталей, повышение производительности оборудования, снижение себестоимости и сокращение сроков подготовки производства. Эти вопросы вызвали необходимость решения соответствующих задач при проектировании и применении технологической оснастки. Прежде всего, необходимо было провести определенную работу по стандартизации и нормализации узлов приспособлений для использования их в различных типах и конструкциях приспособлений.

Универсально-сборные приспособления (УСП) состоят из нормализованных деталей — плит, планшайб, подставок, призм, угольников, втулок, прихватов и т. п. В машиностроении УСП успешно используют в серийном и единичном производствах и, в частности, в строительном и дорожном машиностроении. Детали УСП соединяют между собой с помощью шпонок, шпилек и болтов с Т-образными головками. Наиболее распространенным видом УСП является типовой комплект деталей, который состоит из следующих групп (табл. 17).

Применение УСП весьма эффективно. Их использование на предприятиях строительного, дорожного и коммунального машиностроения должно возрастать во все более широких масштабах.

Наименование деталей	Общее число, шт.		
	типов	типоразме- ров	деталей
Базовые плиты	11	16	200
Опорные детали (подкладки, призмы и т. д.)	28	96	2 000
Установочные детали (шпонки, пальцы, фиксаторы)	13	168	2 800
Направляющие втулки и планки	5	89	600
Прижимные детали типа прихватов	14	21	800
Крепежные детали	19	85	12 000
Планки шарнирные, откидные, оси, центры, вилки и т. п.	24	41	1 200
Неразборные сборочные единицы, типы фиксаторов с делительными дисками, тисочные губки и т. п.	36	45	400
Итого	150	561	20 000

§ 6. КОРПУСНЫЕ ДЕТАЛИ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Корпус является ответственной частью приспособления, так как воспринимает основные нагрузки, возникающие при обработке деталей. Для удовлетворения этим требованиям корпусные детали приспособлений должны быть достаточно прочными,

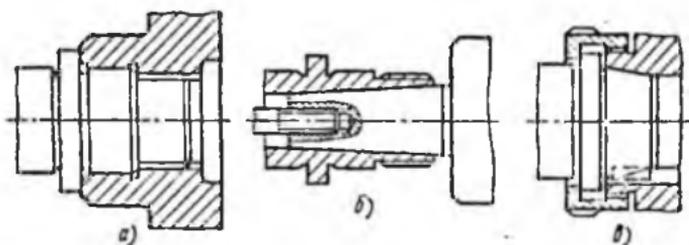


Рис. 135. Крепление корпусов на токарных станках:

а — цилиндрической поверхностью; б — конусом; в — смешанный способ

жесткими, оснащенными направляющими элементами для точной установки заготовок. Примеры корпусных деталей приспособлений для обработки тел вращения приведены на рис. 135. Корпуса приспособлений выполняют различными способами.

§ 7. АГРЕГАТНЫЕ ГОЛОВКИ

Необходимость концентрации операций на одном станке определяется типом производства и присуща главным образом серийному производству. В этом смысле строительное и дорож-

ное машиностроение является широкой базой внедрения методов обработки, основанных на принципах концентрации операций.

Задача концентрации операций решается путем использования агрегатных станков. Агрегатное оборудование поставляется станкостроительной промышленностью, а также создается путем модернизации действующего универсального. Основной частью агрегатного станка является агрегатная головка, сообщающая

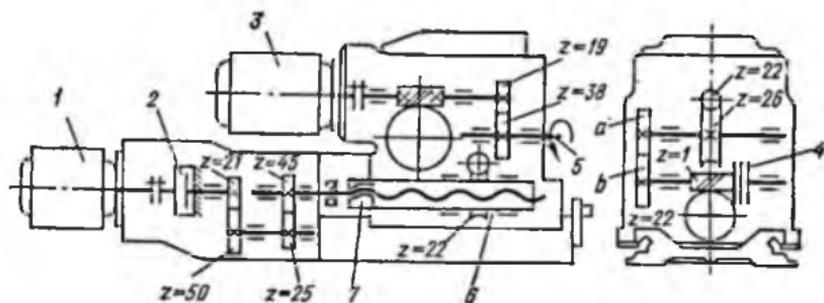


Рис. 136. Кинематическая схема силовой головки

режущему инструменту главное движение, движение подачи и установочные перемещения. Агрегатные головки делят на самодействующие и несамодействующие. К первой группе относятся головки, у которых привод подачи расположен в ней же; ко второй группе — такие, у которых часть механизмов привода вынесена за пределы этой головки.

Примерная схема самодействующей головки для сверлильных, расточных, резьбофрезерных и фрезерных работ приведена на рис. 136. Такая головка работает по схеме: подвод — рабочая подача — отвод. Это осуществляется путем включения реверсируемого электродвигателя 1 и электромагнитной муфты 2, приводящих во вращение гайку 7, перемещающуюся по неподвижному ходовому винту.

Подача включается посредством движений вала 5, вращающегося от электродвигателя 1 через зубчатую пару 19—38. В то же время червячная передача 2—26, приводимая в движение тем же двигателем через сменные шестерни *a*—*b* и червячную передачу 1—22, вращает гильзу 6, внутри которой находится гайка 7, а последняя, вращаясь, перемещает весь узел и тем самым осуществляет подачу.

Величина подачи определяется передаточным отношением сменных колес, а величина силы резания регулируется фрикционной муфтой 4. При необходимости установочной головки в наклонном или вертикальном положении применяют противовесы. Силовые узлы агрегатных головок оснащают шпиндельными

коробками или насадками для закрепления в них режущих инструментов.

В зависимости от типов режущих инструментов агрегатные головки называют сверлильными, расточными, фрезерными и т. п. Для выполнения сверлильных, резьбонарезных и фрезерных работ, не требующих больших сил резания, успешно зарекомендовали себя головки с кулачковым приводом. При более тяжелых условиях работы целесообразно применять головки с барабанным кулачком.

РАЗДЕЛ V

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СБОРКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН

Глава 1

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СБОРКИ

§ 1. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ДЕТАЛЕЙ. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Сборка машин является одним из главных этапов производства в машиностроении. От качества сборки зависит работоспособность всей машины. Наиболее прогрессивные методы сборки возможно использовать при наличии взаимозаменяемых деталей. Это целесообразно с точки зрения производства и ремонта машин в период эксплуатации. Однако следует отметить, что использование метода взаимозаменяемости деталей обусловлено характером производства и возможно только при массовом и серийном выпуске машин.

В единичном и мелкосерийном производствах обычно не используют метод взаимозаменяемости деталей однотипных машин. Это объясняется тем, что в единичном или мелкосерийном производствах на предприятиях обычно выпускают большую номенклатуру различных машин и поэтому требуется значительное число измерений и различных конструкций измерительных средств, что влечет за собой колоссальные трудовые и материальные затраты.

Раньше было отмечено, что всякая машина состоит из сборочных единиц, которые собраны из деталей, являющихся первичными элементами этой машины. Сборочной единицей (узлом) называют изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (ГОСТ 2.101—68).

Взаимозаменяемость обеспечивается путем изготовления деталей в пределах допусков назначенных квалитетов точности и контроля специальными измерительными инструментами, в основном предельными калибрами. Достоверность измерений обеспечивается систематическим метрологическим контролем измерительных средств. Однако для того, чтобы обеспечить высокое качество и производительность сборки, требуются также дополнительные меры, связанные с подбором сборочных элементов, их испытанием и регулировкой. В единичном производстве имеет место индивидуальная подгонка деталей, требуется применение труда высококвалифицированных рабочих.

Серийное производство позволяет внедрять более прогрессивные методы сборки и организовать ее по параллельно-последовательным схемам. Наиболее совершенные методы сборки могут быть реализованы в массовом производстве. В этом случае на каждом рабочем месте выполняют определенные сборочные операции, применяют специальные приспособления, инструмент и подъемно-транспортное оборудование, причем операции

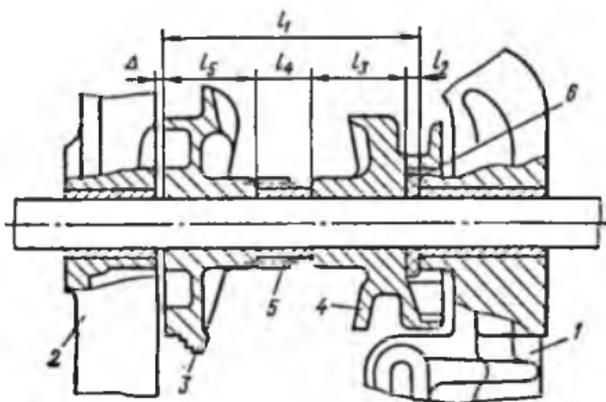


Рис. 137. Размерная цепь узла машины

расчлениют на простые. Такие условия позволяют значительно повысить производительность сборки и требуют менее квалифицированного труда. Массовое производство характеризуется параллельной структурой технологии сборки и высокой степенью взаимозаменяемости, что исключает необходимость всякого рода подгоночных работ.

Рассмотрим пример, характеризующий осуществление метода полной взаимозаменяемости деталей при сборке. На рис. 137 приведена схема расположения деталей сборочной единицы, содержащей корпусные детали 1 и 2, эксцентрики 3 и 4, шестерню 5 и регулируемую шайбу 6 (компенсатор). Техническими условиями на сборку требуется обеспечить посадку эксцентриков с соблюдением общего зазора. Замыкающим звеном в данном случае является зазор Δ . Если обозначить допуски на каждое звено δl_1 , δl_2 , δl_3 и т. д., то допуск на замыкающее звено

$$\delta_{\Delta} = \delta l_1 + \delta l_2 + \delta l_3 + \delta l_4 + \delta l_5.$$

Таким образом, допуск на замыкающее звено представляет собой алгебраическую сумму допусков каждого составляющего звена.

§ 2. СЕЛЕКТИВНЫЙ МЕТОД СБОРКИ

Иногда при сборке машин техническими условиями предусматривают допуски более жесткие, чем получаемые при обработке деталей. В этих случаях применяют метод так называемой селективной сортировки деталей, называемый также методом группового подбора. Этот метод предусматривает разбивку

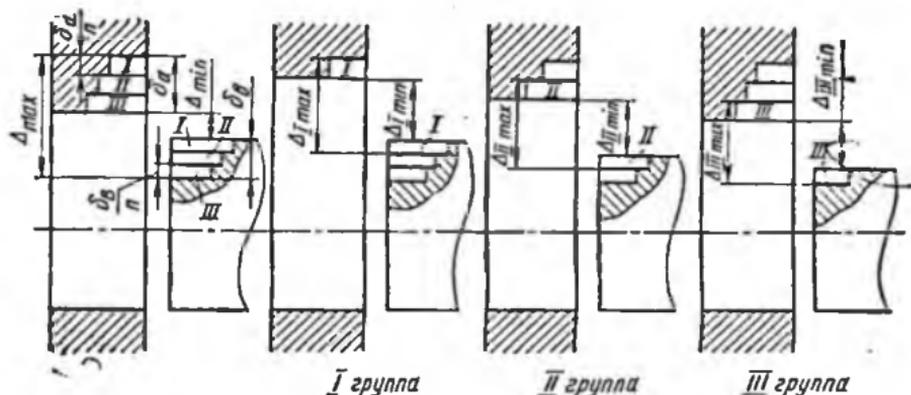


Рис. 138. Разбивка полей допусков на группы

на группы сопрягаемых деталей таким образом, чтобы охватываемые детали сопрягались с охватывающими. На рис. 138 приведена схема разбивки полей допусков сопрягаемых деталей на три группы.

Для определения допусков на величину зазоров в каждой группе следует сделать расчет по формуле

$$\delta_{\Delta} = \frac{\Delta_{\max} - \Delta_{\min}}{3} = \frac{\delta_0 + \delta_D}{3},$$

где δ_{Δ} — допуск на величину зазора; δ_0 — допуск на отверстие; δ_D — допуск на вал; Δ_{\max} — наибольший зазор; Δ_{\min} — наименьший зазор.

В качестве примера приведем расчет допуска на зазор при сборке поршня и пальца двигателя внутреннего сгорания. В поршне обрабатывают отверстие под палец в размер $d_{\text{пор}} = 36^{+0,015}$ мм, а диаметр пальца — в размер $d_{\text{пал}} = 36_{-0,012}$ мм. Изготовленные детали разбивают на три группы.

Допуск на зазор

$$\delta_{\Delta} = \frac{\delta_0 + \delta_D}{3}; \quad \delta_{\Delta} = \frac{0,015 + 0,012}{3} = 0,009 \text{ мм.}$$

В то же время, если не применять метод группирования, то можно иметь максимальный зазор $\delta_{\max} = 0,027$ мм при $\Delta_{\max} = 0,027$ и $\Delta_{\min} = 0,000$.

Приведенный пример расчета свидетельствует о возможности достижения повышенной точности сборки сопрягаемых деталей при использовании методов селективной сортировки деталей перед их сборкой.

§ 3. МЕТОДЫ ИСКЛЮЧЕНИЯ ПОДГОНОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ СБОРКЕ

Конечной целью изготовления машин является высокое качество сборки, соответствие параметров машины техническим условиям, удовлетворение требований, обеспечивающих надежность работы. Сам процесс сборки нужно совершенствовать таким образом, чтобы детали и сборочные единицы можно было бы устанавливать в машину методами монтажа.

Для выполнения этого условия необходимо тщательно проводить подготовку деталей к сборочным операциям. Эти подготовительные работы состоят из слесарной подгонки, очистки и промывки поверхностей деталей в моечных устройствах, сушки деталей сжатом воздухом. Слесарно-подгоночные работы предусматривают обрубку, опиловку, шабрение, притирку, доводку, правку и некоторые станочные операции, производимые по месту, например нарезание резьбы, развертывание и т. п. Обрубку обычно производят слесарными или пневматическими зубилами и точность обработки составляет 0,25—0,5 мм.

Опиловку или зачистку осуществляют с помощью напильников, для работ высокой точности применяют надфили и абразивные инструменты. Шабрение производят специальными инструментами: шаберами, вручную, или специальными механическими или пневматическими устройствами (при большом объеме работ). Притирку и доводку применяют в целях обеспечения точных и плотных соединений сопрягаемых деталей. Инструментами в этих случаях являются различные диски, цилиндры, конусы, представляющие собой подвижные притиры, плиты, бруски, трубы, кольца, выполняющие функции неподвижных притиров и изготовленные по форме притираемых деталей. Материалами для притиров являются стекло, медь, чугун, сталь, свинец, древесина и т. п. При притирке применяют пасты ГОИ различных марок в зависимости от условий работы. Эти пасты содержат окись хрома, силикагель, керосин, стearин, олеиновую кислоту и двууглекислый натрий (для тонких работ). Для сравнительно грубых работ при точности в десятые доли миллиметра нужно использовать пасты марок 20, 25, 30, 35, 40, 50 (светло-зеленого цвета); для работ средней точности, измеряемой сотыми долями миллиметра, пасты марок 10 и 15 (зеленого цвета); при тонкой доводке, требующей высокой точ-

ности порядка сотых долей миллиметра, следует выбирать пасты марок 1, 4, 7 (черный цвет с зеленоватым оттенком).

Кроме того, промышленность выпускает широкую номенклатуру паст «Харьков-ДМ», применяемых в тех же случаях, что и пасты ГОИ. Положительно зарекомендовали себя пасты марок «ЛИК», применяемые для особо тонкой доводки металлических и неметаллических материалов. Для обработки особо твердых материалов изготавливают алмазные пасты марки АП с добавлением цифры (например, АП-40), обозначающей средний размер зерен в микрометрах. Доводочными работами достигается точность изготовления деталей до 6-го качества и шероховатость поверхности до $Ra=0,010$ мкм.

Важную роль для выполнения сборочных операций играют специальные станды. Стенды представляют собой контрольно-поворочные устройства, обеспечивающие правильное положение деталей и сборочных единиц при их установке в машину; их обслуживает подъемно-транспортное оборудование. В серийном и массовом производствах сборочные операции по доводке нужно выполнять с помощью специального оборудования. Этим оборудованием являются доводочные станки широкого назначения мод. 3820Д, 36816, 3А814 и др. Доводочные станки вносят в технологические процессы элементы механизации и автоматизации, создавая условия взаимозаменяемости деталей в производстве и эксплуатации и в значительной мере снижая необходимость использования рабочих высокой квалификации.

При правильной организации доводочных операций с применением современного оборудования значительно упрощаются процессы сборки, и, тем самым, они превращаются в монтажные операции, что позволяет значительно повысить и резко улучшить эксплуатационные параметры машин.

§ 4. СБОРКА ПОДВИЖНЫХ И НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Сборкой осуществляют две разновидности соединений: подвижные и неподвижные. Эти соединения, в свою очередь, подразделяют на разъемные и неразъемные. Неподвижные неразъемные соединения получают с помощью сварки, паяния, клепки, склеивания, запрессовки, заливки металла. Неподвижные разъемные узлы бывают винтовыми, штифтовыми, болтовыми, клиновыми, конусными и комбинированными соединениями. К сборочным единицам в зависимости от их назначения предъявляют требования по точности, прочности, герметичности, электропроводности и т. п.

К подвижным соединениям в строительном и дорожном машиностроении относятся клиноременные и цепные передачи, которые имеются в щековых камнедробилках, отделочных машинах, укладчиках асфальтобетона и т. д. Рассмотрим в качестве примеров особенности сборки этих передач. Сборку клиноре-

менной передачи начинают с подбора типа ремня, который должен работать с заданным натяжением F . Для этого необходимо изготовить стенд, имеющий два шкива, на которые надевают испытываемые ремни. Эти ремни натягивают с помощью пружины, имеющейся на стенде, сила натяжения измеряется индикатором.

Сборка цепной передачи состоит из установки звездочек, надевания на них цепи и регулирования этого соединения. Одним из основных требований к цепным передачам является параллельность положения осей звездочек, которую проверяют линейкой или уровнем. Длину цепи определяют по межцентровому расстоянию звездочек. Число необходимых звеньев втулочно-роликовой цепи

$$n = \frac{2A}{t} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{(z_2 - z_1)^2}{4A},$$

где A — межцентровое расстояние звездочек, мм; z_1 — число зубьев малой звездочки; z_2 — число зубьев большой звездочки; t — шаг цепи, мм.

При монтаже цепной передачи необходимо изготовить специальное стягивающее барашково-винтовое устройство. Минимальная стрела провисания горизонтальной цепной передачи

$$f_{\min} = 11,4 \sqrt{A^3}.$$

Максимальная стрела провисания для передач обычной точности

$$f_{\max} < 3f_{\min}$$

для особо точных передач

$$f_{\max} = 1,5f_{\min}.$$

Широко распространенным соединением в строительных и дорожных машинах является шарикоподшипниковый узел качения. Этот узел имеет две неподвижные посадки: внутреннего кольца подшипника на вал и наружного кольца в корпус машины.

Узлы вращения во многом определяют ресурс работы, коэффициент полезного действия и производительность машин. От точности сборки этих узлов зависят величины указанных параметров машины.

Первой операцией технологического процесса сборки подшипниковых узлов является расконсервация подшипников, которые обычно поставляют смазанными и упакованными, что обеспечивает их предохранение от коррозии в течение одного года. Расконсервацию производят в среде масла И-12, И-20, нагретого

до температуры 90° С. После охлаждения на воздухе подшипники промывают в смеси бензина (92—94%) с маслом И-12 (6—8%). Затем устанавливают подшипники на вал. При этом нагревают подшипник в масляной или воздушной среде с помощью достаточно простых установок, но с обязательным контролем температуры

$$t = \frac{\delta}{\alpha_k d},$$

где δ — натяг посадки, мм; d — диаметр вала, мм; α_k — коэффициент линейного расширения, принимаемый для стали равным $11 \cdot 10^{-6}$.

Температуру нагрева подшипников при сборке узлов строительных и дорожных машин принимают равной 60—100° С. Подшипники устанавливают с помощью оправки. Для установки подшипников в холодном состоянии требуются сравнительно большие силы. В зависимости от диаметров подшипников для запрессовки в одних случаях применяют специальные оправки и молотки, изготовляемые из мягких материалов, а в других — прессы гидравлические, винтовые и т. п.

Величина усилия запрессовки (при демонтаже — усилия распрессовки)

$$P = \frac{\delta \mu_c E \pi B}{2N},$$

где δ — величина натяга, см; E — модуль упругости, кгс/см² (для стали $E = 2,12 \cdot 10^6$); B — ширина кольца, см; μ_c — коэффициент трения, при сборке $\mu_c = 0,1 \div 0,15$, при разборке $\mu_c = 0,15 \div 0,25$; N — коэффициент, определяемый по формуле:

$$N = \frac{1}{\left(1 - \frac{d}{d_0}\right)^2},$$

здесь d — диаметр внутреннего кольца, мм;

$$d_0 = d + \frac{D-d}{4},$$

где D — наружный диаметр подшипника, мм.

Важным требованием, предъявляемым к сборке подшипниковых узлов, является необходимость обеспечения максимальной площади прилегания опорных поверхностей оправок к торцовым поверхностям колец подшипников, воспринимающих усилие запрессовки. В настоящее время разработан и внедрен в производство эффективный способ сборки подшипников для валов диаметром более 50 мм. Этот способ, называемый методом гидравлического разжима, позволяет снижать осевые усилия запрессовки в десятки раз. Гидравлический разжим осно-

ван на действии струи масла, разъединяющей посадочные поверхности вала и подшипника.

Для обеспечения возможности использовать этот метод в конструкциях валов должны быть предусмотрены специальные каналы. Сборка подшипниковых узлов с применением гидродожимов является прогрессивным методом, повышающим качество подшипниковых узлов и производительность сборочных операций.

Глава 2

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН

§ 1. СБОРКА ГИДРОАППАРАТУРЫ

Большинство современных машин (в том числе строительные и дорожные) имеют гидравлический привод. Этот тип привода отличается большими преимуществами: плавностью рабочих движений, бесступенчатым регулированием, простотой устройства, меньшей металлоемкостью, высоким коэффициентом полезного действия.

Однако гидравлические сборочные единицы требуют высокой точности сборки, поскольку они работают при давлении 1000 Н/см² и более. Процесс сборки гидроаппаратуры состоит из следующих операций: подготовка деталей к сборке; сборка гидравлических цилиндров и насосов; монтаж гидравлических систем; испытание собранной гидроаппаратуры. Подготовка деталей к сборке содержит: резку, гибку и развальцовку труб, доводку отверстия под шток, доводку плоских поверхностей и т. п.

Сборка трубопроводов заключается в соединении труб с помощью муфт, угольников или штуцеров, после чего производится их герметизация путем развальцовки концов труб, сваркой или с помощью резьбовых соединений посредством уплотнения паклей и сурником. При осуществлении этих операций следует обращать особое внимание на чистоту соединяемых поверхностей всех деталей гидросистемы.

Наиболее ответственными являются операции сборки непосредственно самой гидроаппаратуры, основными сборочными единицами которой бывают гидроцилиндры, насосы и т. п.

Рассмотрим приемы сборки на примере сборочной единицы «Гидроцилиндр на цапфах», применяемой в дорожных машинах. Гидроцилиндр (рис. 139) состоит из цилиндра 15, поршня 10, штока 8, гайки 4, шайбы упорной 3, втулки штока 7, грязесъемника 2, шплинта 14, крепящего гайку штока, и уплотнений круглого сечения с защитными кольцами 5, 6, 11, 12. После пос-

тупления деталей на сборку проверяют, нет ли заусенцев и других погрешностей на рабочих поверхностях. Далее промывают детали в керосине, бензине или уайт-спирите и протирают насухо.

В первую очередь начинают сборку штока 8 с поршнем 10, предварительно проверив установку уплотнительного кольца 9. После установки поршень фиксируют гайкой 13 и шплинтом 14.

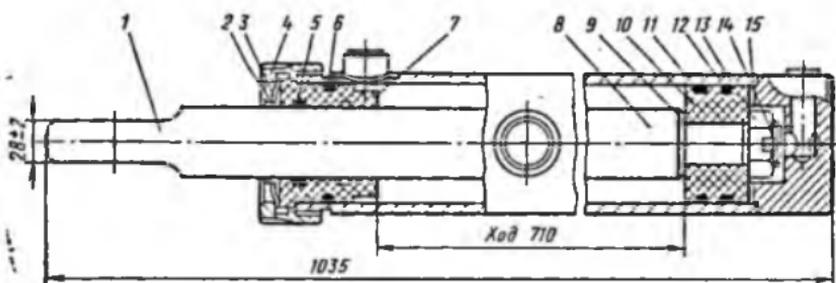


Рис. 139. Гидроцилиндр:

1 — втулка; 2 — грязесъемник; 3 — упорная шайба; 4 — гайка; 5, 6, 9, 11, 12 — уплотнительные кольца круглого сечения и защитные кольца; 7 — втулка; 8 — шток; 10 — поршень; 13 — гайка; 14 — шплинт; 15 — цилиндр

Сборочную единицу поршень-шток проверяют на биеение с помощью призм или центров. Затем следует установка резиновых уплотнений и защитных колец в канавки поршня, причем, если защитные кольца из полимерных материалов неразрезной конструкции, то их нагревают в кипящем масле и натягивают на поршень с посадкой в канавки.

Собранную таким образом сборочную единицу вставляют в цилиндр. Втулку 7 из полимерного материала оснащают снаружи и изнутри уплотнениями, аналогичными уплотнениям поршня, после чего ее аккуратно надевают на другой конец штока; затем шток с надетыми на него поршнем и втулкой вводится в цилиндр под действием усилия запрессовки, сообщаемого выбранным оборудованием.

Далее корпус цилиндра закрывают с обоих концов, предварительно в него слева устанавливают грязесъемник 2 и упорную шайбу 3. При сборке всех узлов гидроаппаратуры (цилиндров, насосов, кранов и др.) следует строго следить за чистотой деталей и в необходимых случаях производить пригоночные работы сопрягаемых деталей, их очистку, протирку и смазывание маслом.

После сборки гидроаппаратуру заполняют рабочей жидкостью и подвергают испытанию на специальных стендах. Испытания заключаются в проверке на герметичность и замерах рабочих параметров. В частности, испытательное давление в полостях цилиндров дорожных машин должно быть равным

1500 Н/см² при рабочем давлении 1000 Н/см²; сила на штоке при движении вперед 50 200 Н; при движении назад 30 600 Н; температура рабочей жидкости 50—70° С; температура окружающей среды от —30 до +85° С.

§ 2. СБОРКА РЕДУКТОРОВ

Редукторы строительных и дорожных машин являются широко распространенными сборочными единицами зубчатых или червячных передач. Качество сборки этих передач во многом предопределяет надежность работы всей машины. Прежде всего, необходимо учитывать требования, предъявляемые к точности зубчатых передач: ГОСТ 1643—72 предусматривает 12 степеней точности. Этим же ГОСТом установлены четыре вида сопряжений между зубьями шестерен, которые определяются величиной наименьшего гарантированного бокового зазора между зубьями. Эти сопряжения выполняют по посадкам стандарта СЭВ 145—75. В строительных и дорожных машинах в основном применяют зубчатые передачи с нормальным гарантированным зазором.

Перед сборкой шестерни контролируют по внешнему виду, размерам уровня шума и пятну контакта. После сборки проверяют следующие параметры:

1. Радиальное биение зубчатого венца конусным накопечником или роликом и индикатором у шестерен, собранных в редукторе или в специальном приспособлении.

2. Площадь контакта на обкатном стенде с помощью краски.

3. Боковой зазор.

4. Качество сопряжения поверхностей шестерен с валами или втулками, прилегание и биение их торцов.

Нормативы этих параметров приведены в табл. 18—20.

Таблица 18

Допуски на радиальное биение, мкм

Степень точности	Модуль, мм	Диаметры шестерен, мм						
		До 50	50—80	80—120	120—200	200—320	320—500	500—800
3	Св, 1 до 10	4,8	6,5	8	9,5	11	12	15
4	» 1 » 10	7,5	10,5	12	15	18	20	24
5	» 1 » 10	12	17	20	24	28	32	38
6	» 1 » 16	20	26	32	38	45	50	58
7	» 1 » 30	32	42	50	58	70	80	95
8	» 1 » 50	50	65	80	95	110	120	150

Наименьшие боковые зазоры, мкм

Вид сопряже- ния	Междентровое расстояние, мм								
	До 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
<i>h7</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>g7</i>	42	52	65	85	105	130	170	210	260
<i>f8</i>	85	105	130	170	210	260	340	420	530
<i>d8</i>	170	210	260	340	420	530	670	850	1000

Таблица 20

Допуски на непараллельность и перекося осей на длине, равной ширине колеса, мкм

Степень точности	Модуль, мм	Ширина шестерен, мм								
		До 55	55—110	110—160	160—220	220—320	320—450	450—630	630—900	900—1250
3	Св. 1 до 10	6,5	7,5	8,5	9,5	11	13	16	20	25
4	» 1 » 10	8,5	9,5	10,5	11,5	14	17	20	25	32
5	» 1 » 16	10,5	11,5	13	15	18	21	25	32	40
6	» 1 » 16	13	15	17	19	22	26	32	40	50
7	» 1 » 30	17	19	21	24	28	34	40	50	60
8	» 1 » 50	21	24	26	30	36	42	50	60	80

Площадь контакта зубьев шестерен должна соответствовать нормативам, приведенным в разделе III. Боковой зазор в зубчатом зацеплении измеряют путем прокатки свинцовой проволочки между зубьями, затем определяют ее размеры.

В крупносерийном и массовом производствах для этой цели рекомендуется применять другую конструкцию (рис. 140). Поводок 1 жестко посажен на вал, где помещена одна из шестерен. Другой конец поводка подведен к индикатору 2. При неподвижной второй шестерни поворот первой шестерни (а следовательно, и поводка) возможен лишь на величину зазора в зубьях.

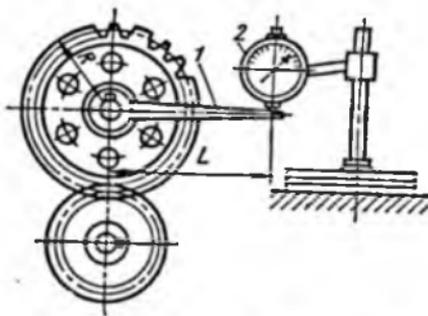


Рис. 140. Прибор для проверки бокового зазора в зубчатом зацеплении

Если показания индикатора, приведенные к радиусу окружности R , будут равны величине C , то искомый зазор

$$C_n = C \frac{R}{L},$$

где L — расстояние между центрами шестерни и индикатора.

Наименьший гарантированный боковой зазор червячных передач зависит от межосевого расстояния, его величину определяют по табл. 21.

Таблица 21

Наименьший боковой зазор червячных зацеплений, мм

Вид сопряжения	Межосевое расстояние, мм			
	До 40	40—80	80—160	160—320
h7	0	0	0	0
g4	28	48	65	95
f8	55	95	130	190
d8	110	190	260	380

Таблица 22

Допуски на смещение средней плоскости червячного колеса от оси червяка, мкм

Степень точности	Межосевое расстояние, мм				
	До 40	40—80	80—110	110—320	320—630
5	±9	±13	±17	±21	±26
6	±14	±21	±26	±34	±42
7	±22	±34	±42	±52	±65

Посадку червячных зубчатых колес производят аналогично цилиндрическим. Однако монтаж всей червячной пары необходимо вести со строгим соблюдением допусков на смещение средней плоскости червячного колеса от оси червяка (табл. 22).

Качество зацепления червячной пары проверяют краской, наносимой на поверхность червяка, при повороте которого получают отпечаток на червячном колесе.

§ 3. СБОРКА РЕЗЬБОВЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Одним из самых широко распространенных видов соединений в строительном и дорожном машиностроении являются резьбовые (винтовые, болтовые и шпилечные). Винтовые соединения применяют в основном при необходимости крепления узлов к корпусным деталям машин, как правило, с последующим контролем силы затяжки.

При использовании винтовых и болтовых способов соединений необходимо затяжку производить минимум 2 раза вследствие того, что при первой затяжке обминаются все неровности и определяются взаимные деформации деталей. Стабильность выбранных сил затяжки следует обеспечивать подбором ключей соответствующей длины. Типы шпилечных соединений выбирают так: а) при высоких и знакопеременных нагрузках для ответственных резьбовых соединений используют шпильки с наличием

буртов или такой конструкции, чтобы был возможен упор конца шпильки в дно отверстия; б) при средненагруженных резьбовых соединениях со стабильной нагрузкой посадка шпильки осуществляется по сбегу резьбы или с натягом по диаметру; недопустима деформация шпилек во время сборочных операций, а при вероятности их перекоса следует производить нарезание новой резьбы в отверстиях.

Резьбовые соединения должны исключать наличие изгибающих напряжений в болтах или шпильках, поэтому гайки бол-

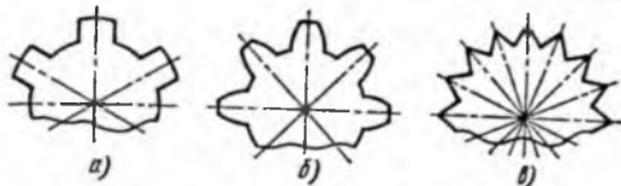


Рис. 141. Типы шлицевых соединений

товых соединений должны плотно по всей поверхности прилегать к торцам собираемых деталей. Затяжка резьбовых соединений должна осуществляться строго равномерно, для чего все гайки сначала затягивают — на $\frac{1}{3}$, затем на $\frac{2}{3}$ и далее полностью. При расположении гаек по кругу порядок затяжки определяют из условий перекрестной последовательности выполнения процесса.

Шлицевые соединения получают все большее распространение в строительных и дорожных машинах вследствие значительно меньших напряжений во время работы по сравнению со шпоночными соединениями. Другим преимуществом шлицевых соединений является отсутствие необходимости в индивидуальной подгонке при их сборке. Основными типами шлицевых соединений являются прямобочные (рис. 141, а) и треугольные (рис. 141, в). Охватываемая деталь этих соединений при сборке центрируется по наружной поверхности впадин или по ширине шлицев. Следует иметь в виду, что соединения, центрируемые по поверхности впадин, более трудоемки, однако они и более точны. В зависимости от выбранной по стандарту посадки шлицевые соединения подразделяют на тугоразъемные, легкоразъемные и подвижные.

При эвольвентных типах шлицевых соединений (рис. 141, б) центрирование производят по боковым сторонам зубьев. Эвольвентные соединения отличаются большей несущей способностью по сравнению с прямобочными. Треугольные шлицевые соединения центрируют по сторонам зубьев. Они имеют меньшую несущую способность по сравнению с другими типами шлицевых соединений, но отличаются простотой механической обработки.

Детали шлицевых соединений при сборке должны быть чистыми, соответствующим образом подготовленными, при тугих типах соединений охватывающие детали необходимо нагревать до температуры 80—120° С и проверять на биение. Легкоразъемные и подвижные соединения, кроме контроля на биение, необходимо еще проверять и на качку.

§ 4. СБОРОЧНЫЕ СТЕНДЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Современные методы сборки машин требуют применения специальных стендов, которые предназначены обеспечивать требуемую точность сопрягаемых деталей и сборочных единиц, а также при использовании в комплексе с механизированным инструментом, специальными приспособлениями и подъемными устройствами сводить к минимуму долю ручного труда.

Приведем в качестве примера некоторые конструкции сборочных стендов. На рис. 142 изображена схема стенда для сборки крупных деталей и сборочных единиц типа траверс. Эти узлы, как правило, во время сборки требуют поворота вокруг горизонтальной оси. В стенде предусмотрены педаль 1 для включения электродвигателя 2 мощностью 1,1 кВт, червячный редуктор 3, поворотные колеса 4, кронштейны 5, ручной привод 6 и катки 7. Конструкция стенда позволяет осуществлять повороты элементов сборки, совершающих 3 об/мин. На этом стенде возможно производить сборку сборочных единиц, имеющих размеры по опорной поверхности 2500×1250 мм и высотой до 550 мм при максимальной массе 3 т.

Для сборки мелких сборочных единиц машин типа валов и корпусов, также требующих поворота во время сборки вокруг горизонтальной оси, положительно зарекомендовал себя стенд конструкции ВПТИСТРОЙДОРМАШа. Этот стенд является пневматическим кантователем (рис. 143). Он предназначен для сборки деталей, имеющих максимальные размеры 220, а минимальные — 50 мм. Зажим осуществляется посредством губок 11.

Наибольшая масса собираемого узла допускается равной 120 кг. Сила зажима равна 11,4 кН при давлении в сети 30 Н/см² 19 кН при давлении 50 Н/см². Габаритные размеры стенда: ширина 790, высота 540 и длина 1265 мм, масса 175 кг.

Примерами приспособлений, предназначенных для сборки сборочных единиц, могут служить гидравлический универсальный съемник и приспособление для запрессовки и выпрессовки шестерен.

Для выполнения сборочных операций широко применяют также механизированный инструмент (сверлильные и шлифовальные ручные, электрические и пневматические машины), резьбонарезные и закручивающие машины, клепальные и рубильные пневматические молотки, шабровочные и т. п. маши-

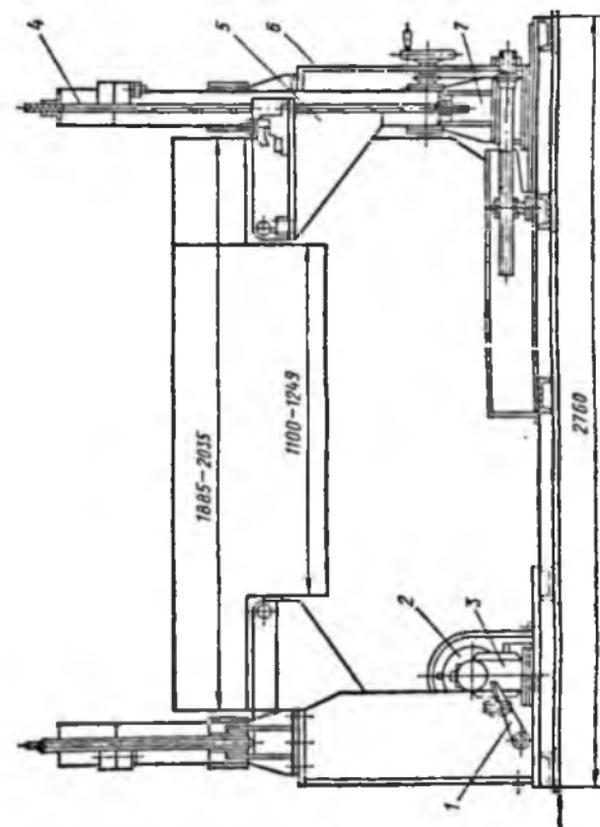


Рис. 142. Стенд для сборки крупных деталей и сборочных единиц

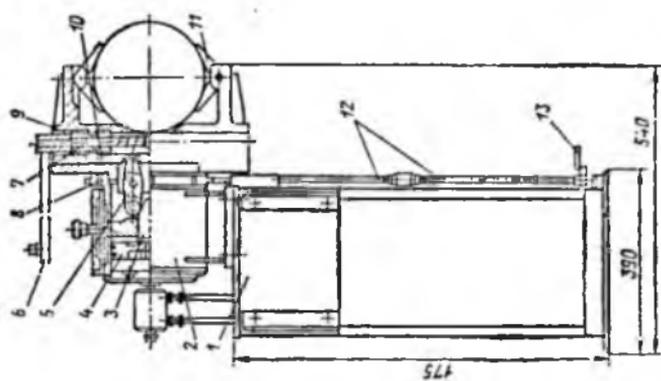


Рис. 143. Стенд-контроваль для сборки мелких сборочных единиц:
 1 — станина; 2 — корпус; 3 — клиновое шило; 4 — подшипник; 5 — рычаг; 6 — рычажок; 7 — ролик; 8 — пневматический цилиндр; 9 — гайка; 10 — муфта; 11 — соединительная трубка; 12 — тяга с фиксатором; 13 — шпindel

ны, всевозможные приспособления (тиски ручные и пневматические, струбины и губки, циркульные ножницы для вырезки прокладок и т. д.).

§ 5. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Механизация и автоматизация сборочных операций является актуальной задачей машиностроения. Прежде чем внедрять их в технологические процессы сборки, необходимо учесть характер производства и рентабельность намечаемых мероприятий. Определенное значение имеют операции сборки подготовительного характера (очистка, промывка, притирка и т. п.). Для притирки отверстий диаметром до 100 мм в деталях строительных и дорожных машин институтом ВПТИСТРОЙДОРМАШ разработано устройство на базе станка 2А125. На станке можно притирать отверстия в деталях шириной 300, высотой 450 и длиной 600 мм. Для притирки наружных цилиндрических и плоских поверхностей институтом ВПТИСТРОЙДОРМАШ создан специальный станок, который может обрабатывать детали длиной до 300 и высотой до 50 мм.

Для механизации трубогибочных работ при выполнении сборочных операций можно использовать трубогибочный станок, на котором допустимо гнуть трубы диаметром от 1 до 2 дюймов и иметь радиусы изгиба от 130 до 240 мм под углом до 90°. Мощность станка 2,8 кВт, масса 315 кг, габаритные размеры 1045 × 915 × 515 мм. Трубы, применяемые в строительных и дорожных машинах, как правило, подвергают развальцовке. Эта операция механизирована и может быть выполнена на специальной установке, созданной институтом ВПТИСТРОЙДОРМАШ. Для выполнения сборочных операций по запрессовке деталей институтом ВПТИСТРОЙДОРМАШ разработаны конструкции гидравлического и пневморычажного прессов. Пневморычажный пресс развивает наибольшее усилие в 100 кН, имеет размеры стола 520 × 450 мм и ход

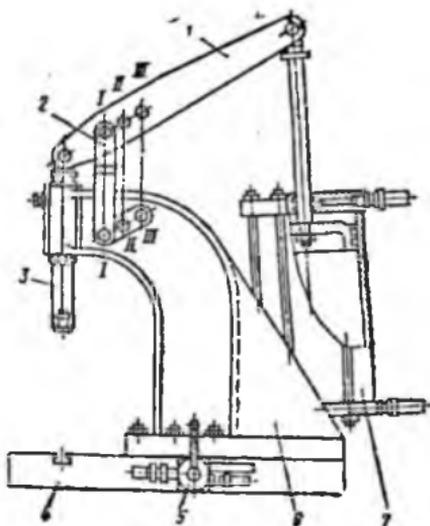


Рис. 144. Пневморычажный пресс конструкции ВПТИСТРОЙДОРМАШ:
1 — рычаг; 2 — серьга; 3 — шток; 4 — основание; 5 — распределительный кран; 6 — стойка; 7 — пневмоцилиндр

штока 500 мм. Пневморычажный пресс (рис. 144) работает от воздушной сети давлением в 50 Па. Пневморычажный пресс выпускают двух моделей, в которых развиваются силы в 35 и 95 кН.

Большой объем работ при сборке занимают мойка и очистка деталей. Эти трудоемкие операции можно полностью автоматизировать, используя моечную машину автоматического действия, состоящую из трех камер. Мойка деталей массой до 3000 кг, высотой и шириной 1400 и длиной 900 мм производится струйным методом с производительностью до 4000 шт/ч. Продолжительность цикла мойки составляет 30—50 мин. Обслуживает машину один человек.

В последнее время применяют также ванны УЗВ-15, УЗВ-16, УЗВ-17 и УЗВ-18 для ультразвуковой очистки деталей. Использование ванн для ультразвуковой очистки повышает экономическую эффективность сборочных операций. Для автоматизации и механизации сборочных процессов применяют и такое оборудование, как различные ванны для нагрева деталей, сушильные шкафы, установки для охлаждения деталей под запрессовку и др. Работы по автоматизации и механизации сборочных операций необходимо продолжать, так как они значительно улучшают качество машин и повышают производительность труда.

§ 6. ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ СБОРКИ

Для перемещения деталей, сборочных единиц и машин в механосборочных цехах применяют различное подъемно-транспортное оборудование. В первую очередь к такому оборудованию следует отнести тележечные, шагающие и тележечные пульсирующие горизонтально-замкнутые конвейеры. Тележечные конвейеры выпускают двух моделей. Первая модель имеет восемь рабочих мест, ручное перемещение тележек, допустимую нагрузку на одну тележку 20 кН, число тележек равно 18. Вторая модель имеет девять рабочих мест, механизированное перемещение тележек, допустимую нагрузку на одну тележку 30 кН, число тележек равно 18. Шагающие конвейеры изготавливают трех типов. Они имеют соответственно: число рабочих мест 14, 17 и 9, допустимую общую нагрузку 132, 90 и 570 кН, габаритные размеры транспортируемых деталей 3200×2020 2400×2520 и 3500×860 мм.

Горизонтально-замкнутые пульсирующие тележечные конвейеры выпускают в двух исполнениях: соответственно они имеют 7 и 20 рабочих мест, длину 18,2 и 50,0 м, масса собираемых деталей 350 и 500 кг, габаритные размеры 400×400 и 500×500 мм.

Для осуществления подъемно-транспортных и установочных операций при сборке машин в радиусе до 4,5 м разработана

конструкция консольного крана велосипедного типа. Кран имеет грузоподъемность 30 кН, скорость подъема 8 м/мин, скорость передвижения 12 м/мин, скорость передвижения тали 20 м/мин и высоту подъема груза 3000 мм. Для аналогичных целей предназначен и полукозловый кран. Этот кран отличается от предыдущего большей универсальностью, им можно управлять из кабины и с пола с помощью подвесного кнопочного блока. Грузоподъемность крана 50 кН, скорость передвижения 20 м/мин, скорость подъема груза 8 и 0,3 м/мин, скорость передвижения электротали 20 м/мин. Кран успешно применяют в сборочных цехах. Кроме того, его можно использовать для межоперационного транспорта в механических цехах и на складах. Кроме того, в сборочных цехах широко применяют мостовые краны, кран-балки различных типов и т. п.

Глава 3

ПРИМЕРЫ ОБРАБОТКИ И СБОРКИ НЕКОТОРЫХ КОНКРЕТНЫХ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН

Ниже приведены примеры построения технологических процессов механической обработки резанием и сборки некоторых конкретных деталей и сборочных единиц строительных и дорожных машин, а также способы совершенствования конструкций и технологии их изготовления, заключающиеся, в частности, в замене отдельных непронизводительных операций более рациональными; тяжелых металлов, из которых изготавливаются детали, легкими конструкционными материалами; в использовании прогрессивных методов формообразования поверхностей деталей и сборки сборочных единиц.

В качестве примеров взяты детали и сборочные единицы строительных и дорожных машин, выпускаемых отечественной промышленностью.

Обработка штока гидроцилиндра рыхлителя Д-652-АС (рис. 145). Заготовкой для штока служит круглый прокат из стали 40Х, предварительно подвергаемый термической обработке (улучшению). Технологический процесс механической обработки штока гидроцилиндра строят по схеме, типичной для ступенчатых валов. В него входят следующие операции: токарная — получение постоянных технологических баз (центров); токарная — черновая и чистовая обработка поверхностей вращения и торцов; сверлильная — сверление радиальных и осевых (смещенных относительно центральной оси) отверстий; фрезерные — обработка шпоночных пазов, лысок и других подсобных поверхностей; шлицефрезерная — фрезерование шлицев; круглошлифовальная — шлифование поверхностей вращения и тор-

хвостовике); слесарная — сборка колодки с накладками для последующей обработки колодки в сборе; токарная, выполняемая на токарно-лобовом станке, — обтачивание наружных поверхностей накладок в размер по чертежу. Непараллельность осей поверхностей Г и Д относительно оси поверхности В не более 0,2 мм на длине 140 мм. Неперпендикулярность поверхности Е относительно поверхности В не более 1,0 мм.

В процессе обработки на последней, токарной операции, возникает брак (скалывание металла на поверхностях накладок в зоне зазора между ними) вследствие ударов резца, выполня-

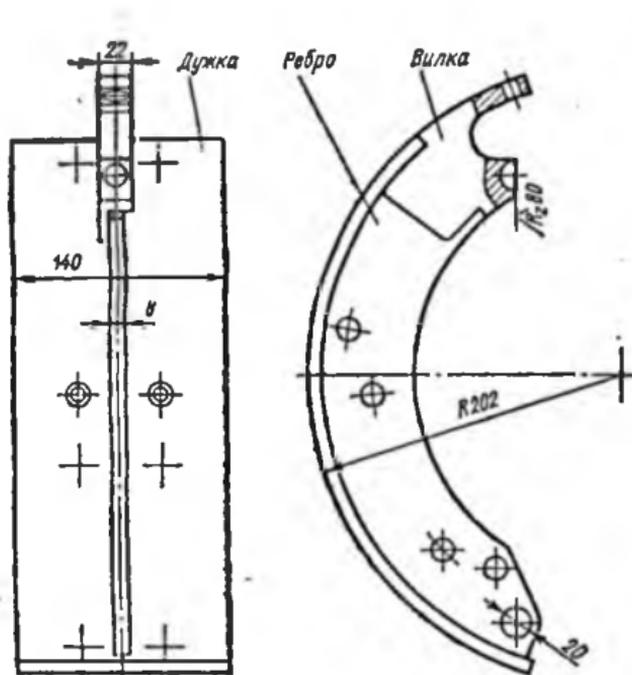


Рис. 146. Колодка системы торможения заднего моста автогрейдера

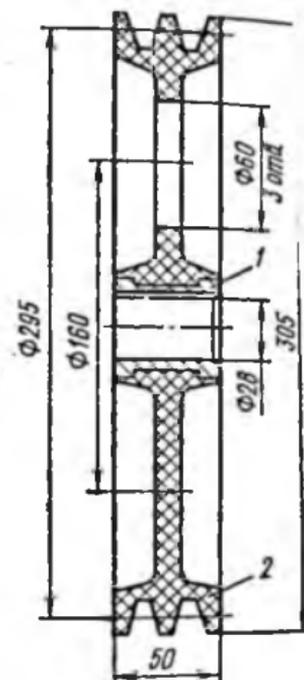


Рис. 147. Шкив приводного механизма растворонасоса

ющего прерывистое резание. Для устранения этого существенного недостатка в существующем технологическом процессе произведена замена токарной операции по обработке поверхности накладки на фрезерную, выполняемую методом непрерывного фрезерования. Преимуществами обработки этим методом является отсутствие брака из-за сколов металла на поверхностях накладок, уменьшение потерь времени на переточку инструмента и подналадку оборудования, возможность использовать рабочих-станочников более низкой квалификации.

Обработка шкива приводного механизма растворонасоса СО-48 (рис. 147). Заготовкой шкива приводного механизма слу-

жит отливка из серого чугуна марки СЧ 18-36. Технологический процесс механической обработки шкива состоит из следующих операций: сверлильная, выполняемая на вертикально-сверлильном станке, — сверление центрального отверстия и подрезание торца ступицы; протяжная — калибрование центрального отверстия; сверлильная, выполняемая на вертикально-сверлильном станке, — подрезание второго торца ступицы; протяжная — протягивание шпоночного паза в центральном отверстии ступицы; токарная, выполняемая на многорезцовом токарном полуавтомате, — протачивание наружной поверхности шкива и обработки пазов под клиновые ремни.

Трудоемкость обработки шкива из литой чугунной заготовки по приведенному маршруту сравнительно высока, и масса готовой детали получается значительной. Для уменьшения массы строительной машины, экономии металла и снижения трудоемкости механической обработки шкив 2 изготавливают из волокниста, и только отверстие ступицы армируют чугунной втулкой 1 (отметим, что детали и других строительных машин в настоящее время изготавливают из легких конструкционных материалов и их сплавов). Эксплуатационные характеристики детали при этом остаются на уровне, необходимом для надежного функционирования узла приводного механизма.

Число операций по обработке шкива, изготавливаемого из волокниста, резко сокращается. Технологический процесс сводится к выполнению операций только по обработке чугунной втулки: сверлильная — сверление и развертывание отверстия втулки на полуавтомате; протяжная — протягивание шпоночного паза в отверстии втулки. Остальные размеры чугунной втулки получают при отливке и механической обработке не подлежат.

Чугунную втулку, прошедшую механическую обработку, устанавливают в пресс-форму. Пресс-форма заполняется волокнистом. В результате прессования получается готовый шкив, не требующий дальнейшей механической обработки.

Обработка реактора гидротрансформатора ТР-325 (рис. 148). Заготовкой для реактора служит литье из алюминиевых сплавов, обеспечивающих хорошее заполнение узких каналов и обладающих свойством легко обрабатываться резанием. Технологический процесс механической обработки реактора гидротрансформатора состоит из следующих операций: токарная, выполняемая на токарном станке 16К20, — протачивание диаметров 182 и 200 мм с подрезкой торцов; растачивание отверстия диаметром 94 мм с подрезкой торца; подрезка выступов лопаток на конус; проточка конусов у лопаток под угол; токарная, выполняемая на токарном станке 16К20, — протачивание диаметра 303 мм с подрезкой торца; снятие конуса под углом 45°; растачивание отверстия диаметром 95 мм; растачивание диаметра 143 мм с подрезкой торца; сверлильная, выполняемая на радиально-сверлильном станке мод. 255, — сверление четырех

отверстий диаметром 8,4 мм, четырех отверстий диаметром 9,8 мм, нарезание резьбы в четырех отверстиях; слесарная — заливание входных и выходных кромок 12 лопаток, расположенных по окружности.

Сборка аксиально-поршневого гидромотора (рис. 149). При сборке должны быть обеспечены поворот шатуна в поршне в

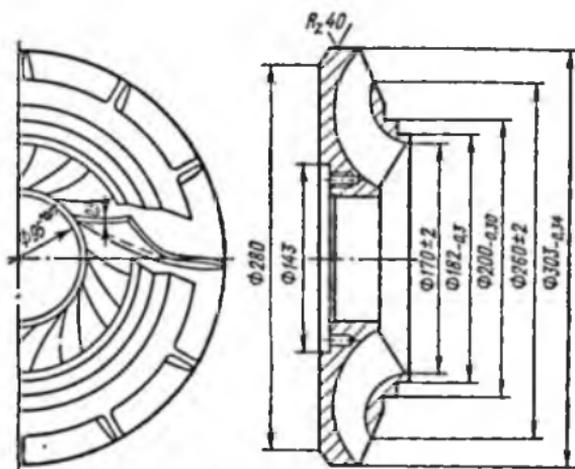


Рис. 148. Реактор гидротрансформатора

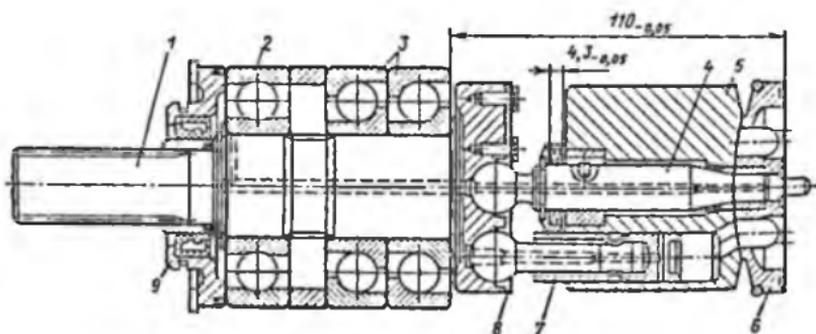


Рис. 149. Аксиально-поршневой гидромотор:

1 — вал; 2 — радиальный подшипник; 3 — блок радиально-упорных подшипников; 4 — центральный шип; 5 — блок цилиндров; 6 — распределитель; 7 — поршень с шатуном; 8 — прижимная пластина; 9 — крышка с манжетным уплотнением

собранном виде под действием собственной массы; поворот узла поршня с шатуном и центрального шипа в валу под действием собственной массы. Технологический маршрут сборки гидромотора состоит из следующих операций: сборка вала с подшип-

никами; сборка блока цилиндров распределителя с центральным шипом; сборка вала с шатунами и центральным шипом; сборка передней крышки с уплотнением; сборка качающего узла с корпусом.

Сборка вала с подшипниками осуществляется по следующему технологическому маршруту: после выполнения подготовительных работ на ведущий вал вручную монтируют два радиально-упорных подшипника, дистанционное кольцо и радиальный подшипник; устанавливают сборочную единицу в приспособление, монтируют стопорное кольцо, надевают технологическую предохранительную втулку на шейку вала для монтажа резинового кольца, затем монтируют уплотнительное кольцо, не доводя его примерно на 10 мм до конечного положения. После этого монтажную втулку удаляют; втулку нагревают примерно до 80° С в масляной ванне и в нагретом состоянии насаживают на вал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашкин Б. С. Основы технологии машиностроения. М.: Высшая школа, 1974. 556 с.
2. Бойцов В. В. Механизация и автоматизация в мелкосерийном и серийном производствах. М.: Машиностроение, 1971. 411 с.
3. Ганшин В. С. Внедрение прогрессивных технологических процессов термической обработки на заводах отрасли. М.: ЦНИИТЭСтроймаш, 1974. 18 с.
4. Готсдинер С. Г. Неметаллические материалы и их применение в машиностроении. М.: ЦНИИТЭСтроймаш, 1971. 104 с.
5. Девятов В. В. Обработка цилиндров пластическим деформированием. М.: ЦНИИТЭСтроймаш, 1979. 50 с.
6. Жданович В. Ф., Соболев А. М., Элиман Т. С. Справочник технолога — сборщика станков. М.: Машиностроение, 1971. 246 с.
7. Кабаков М. Г., Стесин С. П. Технология производства гидроприводов. М.: Машиностроение, 1974. 192 с.
8. Капустин Н. М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ. М.: Машиностроение, 1976. 288 с.
9. Кипарисов С. С., Либенсон Г. А. Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1972. 587 с.
10. Ковка и объемная штамповка. Справочник/Под ред. М. В. Сторожева, М.: Машиностроение, 1968. 684 с.
11. Корсаков В. С. Основы технологии машиностроения. М.: Высшая школа, 1975. 335 с.
12. Корсаков В. С. Автоматизация производственных процессов. М., Высшая школа, 1978. 295 с.
13. Косилова А. Г., Сухов М. Ф. Технология производства подъемно-транспортных машин. М.: Машиностроение, 1972. 373 с.
14. Краткий справочник металлиста/Под ред. А. Н. Малова. М.: Машиностроение, 1972. 767 с.
15. Маталин А. А. Технология механической обработки. Л.: Машиностроение, 1977. 462 с.
16. Мильштейн М. З. Нарезание зубчатых колес. М.: Высшая школа, 1972. 268 с.
17. Попилов Л. Я. Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки металлов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1971. 544 с.
18. Резание конструкционных материалов, режущий инструмент и стали/Под ред. П. Г. Петрухи. М.: Машиностроение, 1974. 607 с.
19. Северденко В. П. Горячее динамическое выдавливание режущего инструмента. Минск: Наука и техника, 1974. 254 с.

20. Справочник технолога-машиностроителя. М.: Машиностроение, т. 1, 1972. 683 с.
21. Типаж металлорежущих станков на 1976—1980 гг. М.: ВНИИНМаш, 1976. 260 с.
22. Шепеляковский К. З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве. М.: Машиностроение, 1972. 208 с.
23. Шнейдер Ю. Г. Инструмент для чистовой обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1971. 243 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4

Раздел I.

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Глава 1. Основные понятия и задачи технологии машиностроения	
§ 1. Производственный и технологический процессы	7
§ 2. Типы машиностроительных производств и методы работы	9
§ 3. Главные задачи совершенствования технологических процессов	12
§ 4. Технологичность конструкций машин	12
§ 5. Режимы обработки и технические нормы времени	13
Глава 2. Системы технической документации	16
§ 1. Технологическая документация	16
§ 2. Единые системы документации	17
Глава 3. Точность обработки	19
§ 1. Понятие о точности обработки и пути ее достижения	19
§ 2. Способы измерений и измерительный инструмент	22
§ 3. Методы и приборы активного контроля	25
Глава 4. Качество поверхностей и методы повышения их эксплуатационных свойств	26
§ 1. Качество поверхности	26
§ 2. Функциональная зависимость эксплуатационных свойств поверхности от способов ее обработки	28
§ 3. Способы упрочнения поверхностей	29
§ 4. Наплавка поверхностей износостойкими материалами	48
§ 5. Химико-термическая обработка поверхностей	53
§ 6. Упрочнение поверхностей путем выбора режимов резания и геометрии режущего инструмента	60
Глава 5. Последовательность и методы проектирования технологических процессов	62
§ 1. Последовательность операций, переходов и назначение припусков при обработке деталей	62

Раздел II.

ПРОГРЕССИВНЫЕ СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК

Глава 1. Производство заготовок литьем	66
§ 1. Характеристика способов производства заготовок	66
§ 2. Способы производства отливок	68

§ 3.	Исходные материалы для отливок из черных и цветных металлов	68
§ 4.	Прогрессивные способы изготовления литых заготовок	69
§ 5.	Техника безопасности и производственная санитария	76
Глава 2. Производство заготовок пластическим деформированием		
§ 1.	Виды разделки исходного материала на заготовки	77
§ 2.	Температурные интервалы обработки давлением	83
§ 3.	Прогрессивные способы формообразования заготовок	84
§ 4.	Техника безопасности при производстве заготовок	133
Глава 3. Производство заготовок из порошковых материалов		
§ 1.	Порошковые материалы и их подготовка к формообразованию деталей	133
§ 2.	Способы формообразования порошковых заготовок	135
§ 3.	Спекание порошковых заготовок	137
§ 4.	Оборудование и оснастка для производства порошковых заготовок	138
Глава 4. Сварные заготовки		
Глава 5. Перспективы развития производства заготовок		

Раздел III.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН

Глава 1. Методы механической обработки поверхностей деталей резанием			141
§ 1.	Типизация технологических процессов и групповые методы обработки		141
§ 2.	Принципы базирования и установки деталей		142
§ 3.	Обработка деталей типа тел вращения		143
§ 4.	Финишные операции при обработке тел вращения		159
§ 5.	Обработка отверстий		160
§ 6.	Обработка резьбовых поверхностей		174
§ 7.	Обработка плоских поверхностей		181
§ 8.	Обработка зубчатых колес		183
§ 9.	Обработка деталей червячных передач		201
§ 10.	Обработка цепных звездочек		202
§ 11.	Обработка шлицевых поверхностей		203
§ 12.	Обработка фасонных поверхностей		204
§ 13.	Обработка корпусных деталей		216
§ 14.	Выбор оборудования и оснастки		218
§ 15.	Применение специального оборудования с программным управлением		222
§ 16.	Автоматизация проектирования технологических процессов механической обработки деталей резанием		227
§ 17.	Применение режущего инструмента из алмазов и кубического нитрида бора		230
§ 18.	Механизация и автоматизация механической обработки деталей резанием		232
Глава 2. Электрофизические и электрохимические методы обработки и упрочнения деталей			236
§ 1.	Электроэрозионная обработка		236
§ 2.	Электрохимическая обработка		238
§ 3.	Анодно-механическая обработка		239
§ 4.	Электроконтактная обработка		240
§ 5.	Ультразвуковая обработка		240
§ 6.	Электронно-лучевая обработка		242
§ 7.	Обработка световым лучом.		242

Раздел IV.

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

§ 1. Классификация технологической оснастки	243
§ 2. Установочные элементы приспособлений	243
§ 3. Зажимные элементы приспособлений	247
§ 4. Делительные приспособления	254
§ 5. Универсально-сборные приспособления	255
§ 6. Корпусные детали приспособлений	256
§ 7. Агрегатные головки	256

Раздел V.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СБОРКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН

Глава I. Технологические методы сборки	259
§ 1. Взаимозаменяемость деталей. Основы технологии сборочных операций	259
§ 2. Селективный метод сборки	261
§ 3. Методы исключения подгоночных операций при сборке	262
§ 4. Сборка подвижных и неподвижных соединений	263
Глава 2. Технология сборки сборочных единиц строительных и дорожных машин	266
§ 1. Сборка гидроаппаратуры	266
§ 2. Сборка редукторов	268
§ 3. Сборка резьбовых и шлицевых соединений	270
§ 4. Сборочные стенды и приспособления	272
§ 5. Механизация и автоматизация сборочных операций	274
§ 6. Подъемно-транспортные средства для сборки	275
Глава 3. Примеры обработки и сборки некоторых конкретных деталей и узлов строительных и дорожных машин	276
Список литературы	282

ИБ 697

Семен Григорьевич Готсдйнер, Виталий Вениаминович Девятю,
Виктор Сергеевич Ермаков

ТЕХНОЛОГИЯ ДОРОЖНОГО И СТРОИТЕЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Редактор **Н. П. Гурвич**

Художественный редактор **И. К. Капралова**

Технический редактор **А. Ф. Уварова, Ф. П. Мельниченко**

Корректоры **О. Е. Мишина, Л. Я. Шабашова**

Переплет художника **Л. С. Вендрова**

Сдано в набор 18.07.80. Подписано в печать 04.10.80. Т-13378.

Формат 60x90^{1/16}. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная.

Печать высокая. Усл. печ. л. 18,0. Уч.-изд. л. 18,35.

Тираж 9000 экз. Заказ 1693. Цена 70 к.

Издательство «Машиностроение», 107076, Москва, ГСП-6, Стромьинский пер., 4.
Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном
комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.