

621.7
T-354

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ

282.8.74

МАШИНОСТРОЕНИЕ

621.7
Т-384

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ

Под общей редакцией А. М. КУЧЕРА

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-техническому образованию
в качестве учебника
для средних профессионально-технических училищ

232871



ЛЕНИНГРАД „МАШИНОСТРОЕНИЕ“
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1980

К

ББК 34

Т38

УДК 621.7(075.8)

Н. Н. КРОПИВНИЦКИЙ, А. М. КУЧЕР, Р. В. ПУГАЧЕВА,
П. Н. ШОРНИКОВ

Рецензенты

ПРЕДМЕТНАЯ КОМИССИЯ
МОСКОВСКОГО СТАНКОСТРОИТЕЛЬНОГО ТЕХНИКУМА,
ИНЖ. И. Г. ГОРЕЛЫШЕВ

Т38 Технология металлов: Учебник для средних
профессионально-технических училищ/Н. Н. Кро-
пивницкий, А. М. Кучер, Р. В. Пугачева,
П. Н. Шорников. — 3-е изд., перераб. и доп. —
Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. —
151 с., ил.
20к

Т 31201—063 63—80 2704010000
038(01)—80

ББК 34
6ПЗ/6П4

© Издательство «Машиностроение», 1980 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Технология металлов — наука, представляющая собой совокупность современных знаний о способах получения металлических материалов и средствах их физико-химической переработки с целью получения деталей и изделий различного назначения. Достоинством металлов и сплавов является то, что путем целенаправленного изменения их химического состава и внутреннего строения можно получать различные конструкционные материалы с новыми свойствами, дающими возможность применения их во всех отраслях народного хозяйства. Несмотря на то, что с каждым годом появляется все больше полимеров и других химических материалов, металлы по-прежнему остаются основой технического прогресса.

Технология металлов как наука включает сведения о металлургии черных и цветных металлов, металлостроении, литейном производстве, обработке металлов давлением, сварке и резке, обработке металлов резанием, неметаллических материалах. Современное состояние науки о металлах во многом обязано трудам отечественных исследователей, изобретателей и ученых, таких, как П. П. Аносов, Д. К. Чернов, Н. С. Курнаков, А. А. Байков, Н. Т. Гутцов.

Наша Родина за годы советской власти из отсталой аграрной страны преобразована в могущественную индустриально-колхозную державу с самой передовой в мире техникой. Если в 1913 г. в дореволюционной России было произведено всего лишь 4,2 млн. т чугуна и столько же стали, то в 1978 г. выплавка чугуна в нашей стране составила 111, а стали — 151 млн. т.

Основными направлениями развития народного хозяйства ~~СССР~~ на 1976—1980 гг. утверждено дальнейшее увеличение производства черных и цветных металлов, неметаллических материалов, средств производства и продукции других отраслей промышленности. Так, выплавка стали в 1980 г. должна составить 160—170 млн. т, производство алюминия, меди, никеля возрастет в 1,2—1,3 раза, титана — в 1,4 раза. В 1,9—2,1 раза увеличится выпуск синтетических смол и пластмасс. Металлорежущих станков будет изготовлено 245 тыс., а производство кузнечно-прессовых машин составит 58 тыс. ед. (См. Основные направления развития народного хозяйства ~~СССР~~ на 1976—1980 гг. — Материалы XXV сессии КПСС. М., Политиздат, 1977, с. 109—155, 159.)

Чтобы стать квалифицированным рабочим-металлистом, каждый учащийся наряду с практическими навыками по избранной специальности должен овладеть теоретическими основами технологии металлов. Рабочий-металлист, не имеющий соответствующей теоретической подготовки, может допустить серьезные технологические ошибки, которые приведут к порче инструмента и оборудования, к браку или излишнему расходу материала. Изучение основ металловедения, способов производства и обработки металлов и неметаллических материалов поможет учащимся после окончания профессионально-технических училищ стать в строй квалифицированных рабочих машиностроительных заводов и принять активное участие в дальнейшем совершенствовании производственных процессов, в повышении эффективности производства и качества выпускаемой продукции.

Учебный материал книги составлен в полном соответствии с программой курса «Технология металлов» для средних профессионально-технических училищ, подготавливающих квалифицированных рабочих машиностроительных профессий.

Учебник написан коллективом авторов. Предисловие и п. 4, 5, 6, 7 гл. 1, гл. 4, 5, 7, 8 и 13 написаны Н. Н. Кропивницким; гл. 12 — канд техн. наук А. М. Кучером; п. 1, 2, 3 гл. 1, гл. 2 и 3 — засл. учителем профтехобразования ~~РСФСР~~ Р. В. Пугачевой; гл. 6, 9, 10 и 11 — П. Н. Шорниковым.

ГЛАВА 1

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ, СВОЙСТВАХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ И МЕТОДАХ ИХ ИСПЫТАНИЙ

При выборе металла для изготовления деталей машин необходимо знать его состав, строение, физико-механические свойства, а также учитывать условия эксплуатации, воздействие механических напряжений и других факторов, влияющих на работоспособность и надежность машин.

1. ЧЕРНЫЕ И ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Металлами называют химические элементы, характерными признаками которых являются непрозрачность, блеск, хорошая электро- и теплопроводность, пластичность, а для многих металлов также ковкость и способность свариваться.

Все металлы и их сплавы в зависимости от основного компонента делят на две большие группы: черные и цветные. К черным металлам относят железо и сплавы на его основе, содержащие углерод и другие элементы. Эти сплавы носят название чугунов и сталей. К этой же группе обычно относят ферросплавы. Вся современная индустрия базируется в основном на применении черных металлов.

Из *цветных* металлов важное промышленное значение имеют: медь, алюминий, магний, свинец, цинк, олово, титан, никель, молибден, кобальт, вольфрам, тантал и др. Цветные металлы и сплавы отличаются

от черных металлов рядом таких физико-химических свойств, которые делают их необходимыми в технике. Например, медь и алюминий обладают высокой электропроводностью и теплопроводностью и применяются в электротехнической промышленности. Олово обладает высокой коррозионной стойкостью против многих органических кислот. Олово применяют для получения белой жести, лужения пищевых котлов, а в сплавах со свинцом с добавками меди и других примесей используют как антифрикционный, или подшипниковый сплав, называемый баббитом.

Современная передовая техника использует металлы, которые раньше не находили практического применения: галлий, бериллий, цирконий, индий и ряд других. Металлы в технике чаще применяются не в чистом виде, а в соединении с другими металлами и неметаллами, т. е. в виде *сплавов*, обладающих более ценными свойствами, чем составляющие их металлы.

2. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Все твердые вещества по взаимному расположению атомов делят на аморфные и кристаллические. Аморфными называются твердые вещества, атомы которых в пространстве расположены хаотично. К аморфным относятся смола, клей, канифоль, стекло и др. Кристаллическими называются твердые вещества, в которых атомы (ионы, молекулы) располагаются в пространстве в строгом повторяющемся порядке, образуя атомно-кристаллическую решетку. Все металлы — вещества кристаллического строения. Кроме металлов кристаллическое строение имеют соль, сахар, алмаз и другие вещества.

В промышленных металлах наиболее распространенными являются следующие кристаллические решетки (рис. 1): кубическая объемно-центрированная, кубическая гранецентрированная и гексагональная. В элементарной кубической объемно-центрированной решетке находится девять атомов (восемь в вершинах куба и один в центре). Такую решетку имеют: железо при температуре до 900 и выше 1400° С, хром, вольфрам, ванадий и другие металлы. В кубической гранецентрированной решетке — 14 атомов (восемь в вершинах

куба и по одному в центре каждой грани). Такую решетку имеют: железо при температуре выше 900°C , медь, никель, алюминий и другие металлы. В гексагональной решетке, имеющей форму шестигранной призмы, — 17 атомов (12 в вершинах, 2 в центре оснований и 3 внутри призмы). Данная решетка имеется у магния, цинка и других металлов.

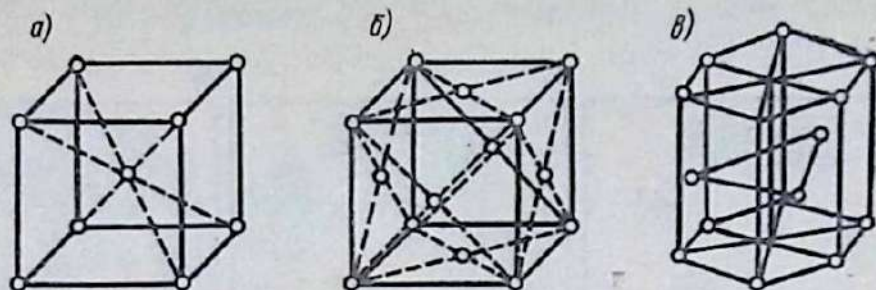


Рис. 1. Пространственные кристаллические решетки: а — кубическая объемно-центрированная; б — кубическая гранецентрированная; в — гексагональная

Возможны и другие формы кристаллических решеток. Атомы в решетке находятся на определенных расстояниях друг от друга. Расстояния эти очень малы и вычисляются в ангстремах ($\text{\AA}$); $1 \text{\AA} = 10^{-8} \text{ см}$. Расположение атомов, межуатомные расстояния, насыщенность атомами — все это влияет на качество металлов.

Особенность расположения атомов в кристаллах и определяет совокупность свойств металлов, отличающих их от неметаллов: металлический блеск, плавкость, теплопроводность, электропроводность, обрабатываемость и *анизотропность*, т. е. различие свойств в разных плоскостях кристаллической решетки.

3. СВЕДЕНИЯ О КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Кристаллизация металлов. Пространственные кристаллические решетки образуются в металле при его переходе из жидкого состояния в твердое. Этот процесс называется *кристаллизацией*. Превращения, происходящие в процессе кристаллизации, имеют важное значение, так как в значительной степени определяют свойства металла. Впервые процессы кристаллизации были изучены русским ученым Д. К. Черновым. Кри-

сталлизация состоит в следующем. В жидком металле атомы непрерывно движутся. По мере понижения температуры движение замедляется, атомы сближаются и группируются в кристаллы. Эта первичная группа кристаллов получила название центров кристаллизации. Далее к этим центрам присоединяются вновь образующиеся кристаллы. Одновременно продолжается образование новых центров. Таким образом, кристаллиза-

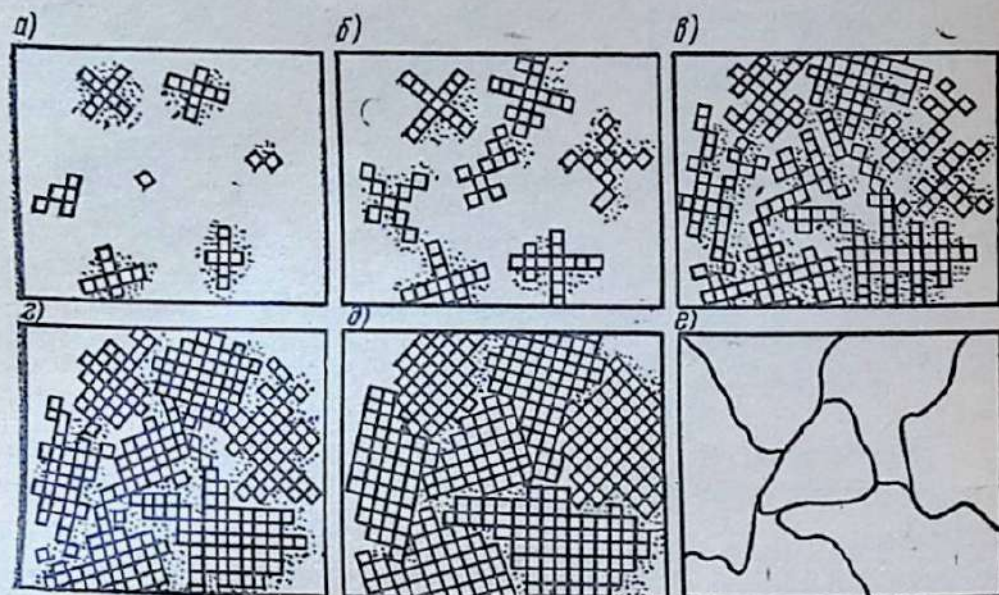


Рис. 2. Схема процесса кристаллизации металла

ция состоит из двух стадий: образования центров кристаллизации и роста кристаллов вокруг этих центров. На рис. 2 показан механизм кристаллизации. Сначала рост кристаллов не встречает препятствий (рис. 2, а), и растущие кристаллы сохраняют правильность строения кристаллической решетки. При дальнейшем движении кристаллы сталкиваются, и образовавшиеся группы имеют уже неправильную форму, но сохраняют правильность строения внутри каждого кристалла. Такие группы кристаллов называют *зернами* (рис. 2, б, в, г и д). На рис. 2, е показаны границы зерен различных размеров, что влияет на эксплуатационные свойства металла. Крупнозернистый металл имеет низкое сопротивление удару, при обработке мешает получению требуемого класса шероховатости поверхности.

Размеры зерен зависят от различных факторов: природы самого металла и условий кристаллизации.

Так как процессы кристаллизации зависят от температуры и протекают во времени, то кривые охлаждения (рис. 3) строятся в координатах температура — время.

На кривой 1 показан идеальный процесс кристаллизации металла без переохлаждения. Сначала температура понижается равномерно — кривая идет вниз. При достижении температуры затвердевания падение температуры прекращается — на кривой образуется горизонтальный участок. Это объясняется тем, что груп-

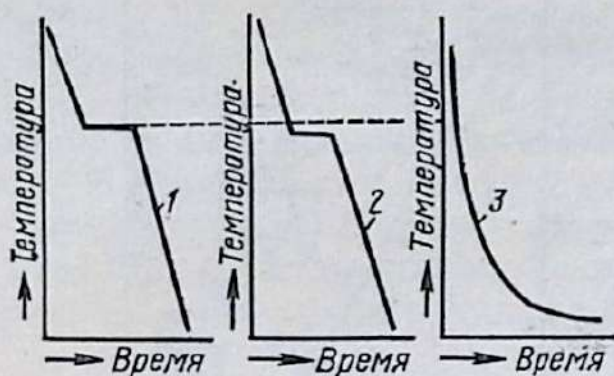


Рис. 3. Кривые охлаждения при кристаллизации:

1 — теоретическая кривая кристаллизации металла; 2 — кривая кристаллизации металла с переохлаждением; 3 — кривая кристаллизации неметалла

пировка атомов идет с выделением тепла. По окончании затвердевания температура снова понижается. По закону кристаллизации чистых металлов каждый металл кристаллизуется при строго индивидуальной температуре.

Практически кристаллизация протекает несколько иначе, так как часто имеет место переохлаждение, т. е. металл при температуре затвердевания остается жидким, и кристаллизация начинается при более низкой температуре. Разница между идеальной и истинной температурой кристаллизации называется степенью переохлаждения.

Кривая 2 соответствует процессу кристаллизации с переохлаждением. Кривая 3 характерна для кристаллизации неметаллов: нет четко выраженной температуры кристаллизации, затвердевание происходит постепенно. Степень переохлаждения является важнейшим фактором, определяющим величину зерна. При большой

скорости охлаждения степень переохлаждения больше и зёрна мельче. Так, при отливке тонкостенных изделий получается мелкозернистая структура, при отливке толстостенных — крупнозернистая.

Вторичная кристаллизация (аллотропия). Некоторые металлы: железо, кобальт, олово и др. — имеют в твердом состоянии две и более кристаллических решеток при неодинаковых температурах. Существование одного

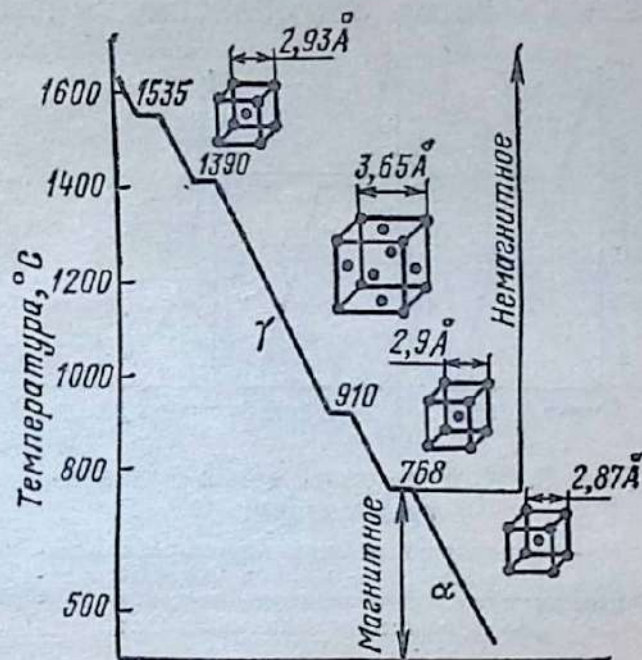


Рис. 4. Аллотропические превращения в железе

и того же металла в разных кристаллических формах называют *аллотропией*, а процесс перестройки одного вида атомов кристаллической решетки в другой — *аллотропическим превращением*. Аллотропные формы, в которые кристаллизуется металл, обозначают буквами α , β , γ , δ и т. д.

Так, при температуре 1539°C железо из жидкого состояния переходит в твердое и образуется δ -железо с объемно-центрированной кубической решеткой (рис. 4); между 1390 и 910°C устойчиво γ -железо немагнитное с гранецентрированной кубической решеткой, которая при дальнейшем охлаждении не перестраивается. При температуре 768°C железо из немагнитного β -железа становится магнитным α -железом. Эти модификации имеют важное практическое значение для

термической обработки и подробно рассматриваются в гл. 4.

Методы изучения структуры металлов. Исследование структур металлов и сплавов производится методами макро- и микроанализа, рентгеновского, спектрального, термического, а также дефектоскопии (рентгеновской, магнитной, ультразвуковой).

Методом макроанализа изучается макроструктура, т. е. структура, видимая невооруженным глазом или с помощью лупы, при этом выявляются крупные дефекты: трещины, усадочные раковины, газовые пузыри и т. д., а также неравномерность распределения примесей в металле, и расположение волокна в поковках, прокате и т. д. Макроструктуру определяют по изломам металла, по макрошлифам. Макрошлиф — это образец металла или сплава, одна из сторон которого отшлифована, протравлена и рассматривается при помощи лупы.

Микроанализ выявляет структуру металла или сплава по микрошлифам, рассматриваемым под микроскопом при увеличении до $2000\times$, а в электронных микроскопах — до $25\,000\times$. Этот важнейший анализ определяет размеры и форму зерен, структурные составляющие, микродефекты, лежащие под поверхностью, качество термической обработки. Зная микроструктуру, можно объяснить причины неудовлетворительности свойств металла, не производя их исследование.

С помощью рентгеновского анализа изучают структуру кристаллов, а также дефекты, лежащие в глубине. Этот анализ позволяет обнаружить дефекты, не разрушая металла. Широко применяют для исследования структуры металла гамма-лучи, проникающие в изделие на значительно большую глубину, чем рентгеновские.

Магнитным методом исследуют дефекты в магнитных металлах (стали, никеле и др.) на глубине до 2 мм (непровар в сварных швах, трещины и т. д.).

Ультразвуковым методом осуществляются эффективный контроль качества изделий и заготовок любых металлов на большой глубине. Ультразвук используют для контроля качества роторов, рельсов, поковок, проката и других изделий при необходимости сохранения целостности изделий.

4. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

К физическим свойствам металлов относят: цвет, плотность, температуру плавления, теплопроводность, тепловое расширение, теплоемкость, электропроводность, магнитные свойства.

Цветом называют способность металлов отражать падающие на них световые лучи. Например, медь имеет розово-красный цвет, алюминий — серебристо-белый и др. *Плотность* металла характеризуется его массой, заключенной в единице объема. *Плавление* — процесс перехода металла из твердого состояния в жидкое. Температура плавления железа 1539°C , меди 1083°C , олова 232°C . *Теплопроводность* — способность металлов проводить тепло при нагревании и отдавать его при охлаждении. Лучшей теплопроводностью обладают чистые металлы: серебро, медь, алюминий. Теплопроводность используется при теплотехнических расчетах.

Тепловое расширение — свойство металлов расширяться при нагревании. При охлаждении происходит обратное явление. Это свойство учитывают при строительстве мостовых ферм, прокладке железнодорожных рельс и др. *Теплоемкость* — способность металла при нагревании поглощать определенное количество тепла. Для сравнения теплоемкостей различных металлов служит удельная теплоемкость — количество тепла в больших калориях, которое необходимо, чтобы повысить температуру 1 кг металла на 1°C .

Способность металлов проводить электрический ток оценивают двумя взаимно противоположными характеристиками — *электропроводностью* и *электросопротивлением*. Хорошая электропроводность необходима, например, для токонесущих проводов (медь, алюминий). При изготовлении электронагревателей приборов и печей необходимы сплавы с высоким электросопротивлением (нихром, константан, манганин).

Магнитные свойства — способность металлов намагничиваться. Высокими магнитными свойствами обладают железо, никель, кобальт и их сплавы, называемые ферромагнитными. Некоторые материалы по прекращении подачи тока теряют магнитные свойства. Материалы с магнитными свойствами применяют в электротехнической аппаратуре.

5. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Химические свойства — способность металлов и сплавов сопротивляться окислению или вступать в соединения с различными веществами: кислородом воздуха, углекислотой, влагой, щелочами и др. Чем лучше металл вступает в соединение с другими элементами, тем легче он разрушается. Химическое разрушение металлов под действием окружающей среды при обычной температуре называется коррозией металлов.

Металлы, стойкие к окислению при сильном нагреве, называются жаростойкими. Такие металлы применяют для изготовления деталей, которые эксплуатируются в зоне высоких температур. От жаростойкости следует отличать жаропрочность, т. е. способность металлов сохранять в условиях высоких температур свою структуру, не размягчаться и не деформироваться под действием нагрузки.

Сопротивление металлов коррозии, окалинообразованию и растворению определяют по изменению массы испытуемых образцов на единицу поверхности за единицу времени. Знание химических свойств крайне необходимо при выборе металлов или сплавов для деталей и изделий.

6. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Свойства, характеризующие способность металла или сплава сопротивляться воздействию внешних сил, называют *механическими*. Внешние силы (нагрузки) могут быть статическими, динамическими или циклическими (повторно-переменными). По направлению действия силы (нагрузки) возникают деформации растяжения, сжатия, изгиба, скручивания и среза. В практике, как правило, на деталь или изделие силы воздействуют не раздельно, а в комбинации друг с другом, в этом случае возникают упругая или пластическая (сложные) деформации.

Механические свойства в качестве главных включают характеристики прочности, твердости, пластичности, упругости и вязкости. Кроме того производят испытания металлов на усталость (выносливость), ползучесть и др.

Подробная методика проведения испытаний приведена в соответствующих ГОСТах.

Figure 1 consists of three parts: (a) A schematic of a tensile specimen with diameter d_0 and length l_0 . (b) A schematic of a specimen with diameters a and b , and length l_0 . (c) A stress-strain curve with stress P on the vertical axis and elongation $\Delta l, \text{mm}$ on the horizontal axis. The curve starts at the origin O , passes through points T and T' , reaches a maximum at point B , and ends at point K . The corresponding stresses are P_0 at O , P_T at T , P_{yn} at T' , P_{nu4} at B , P_B at B , and P_K at K .

Для испытания на растяжение из испытуемого материала изготавливают круглые (рис. 5, а) или плоские (рис. 5, б) образцы, форма и размеры которых установлены ГОСТ 1497—73. Образцы подразделяются на нормальные и пропорциональные. Цилиндрические образцы диаметром 10 мм, у которых расчетная длина l_0 равна десятикратному диаметру, именуются длинными, а образцы, у которых $l_0 = 5d$, — короткими. При испытаниях на растяжение образец растягивается под действием плавно возрастающей нагрузки до разрушения.

14

мых металлов и сплавов. На участке $0—P_{пц}$ удлинение образца Δl увеличивается прямо пропорционально нагрузке. Нагрузку $P_{пц}$, до которой сохраняется закон пропорциональности между нагрузкой и деформацией, называют пределом пропорциональности. Его определяют по формуле $\sigma_{пц} = P_{пц}/F_0$ МПа, где F_0 — начальная площадь поперечного сечения образца.

На участке от $P_{пц}$ до $P_{уп}$ диаграммы появляется остаточное удлинение образца. Для практических целей напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,005—0,05% от начальной расчетной длины образца, условились называть условным пределом упругости. В обозначении условного предела упругости указывают остаточную деформацию, например $\sigma_{0,05}$. Выше точки $P_{уп}$ кривая диаграммы растяжения плавно переходит в горизонтальный участок при постоянной нагрузке P_T . Нагрузку P_T , при которой начинается течение металла или сплава, называют пределом текучести, а участок TT^1 — площадкой текучести.

Напряжение, соответствующее максимальной нагрузке P_B , которую выдерживает образец в процессе испытания до разрушения, называют *пределом прочности* — временным сопротивлением разрыву (в МПа):

$$\sigma_B = P_B/F_0.$$

До точки B диаграммы (рис. 5, в) образец удлиняется равномерно по всей длине с одновременным уменьшением толщины. В точке B начинается образование шейки. Образец в одном месте становится все тоньше — продолжает удлиняться и, наконец, разрывается. С образованием шейки рвутся только пластичные металлы. Поэтому участок кривой BK характеризует показатель пластичности металла.

В качестве характеристики пластичности используют относительное удлинение образца. *Относительным удлинением* δ после разрыва называют отношение приращения длины l_k образца после разрыва к его первоначальной расчетной длине l_0 , выраженное в %.

Показателем пластичности является также *относительное сужение* ψ металла, которое определяется как отношение уменьшения площади F_k поперечного сечения образца после разрыва к первоначальной площади F_0 его поперечного сечения, выраженное в %. Относи-

тельное удлинение и относительное сужение определяют так называемую статическую вязкость металлов и сплавов.

Методы измерения твердости. Твердость — это свойство металла сопротивляться при вдавливании в него более твердого тела. Испытания твердости металлов получили широкое распространение в условиях производства как наиболее простой и быстрый способ определения механического свойства.

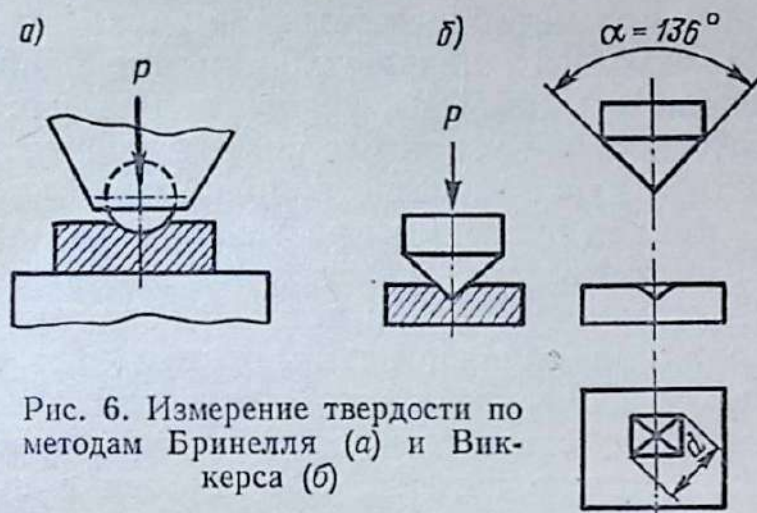


Рис. 6. Измерение твердости по методам Бринелля (а) и Виккерса (б)

Существует три (статических) метода испытания на твердость, называемых по имени их изобретателей: метод Бринелля (ГОСТ 9012—59); метод Роквелла (ГОСТ 9013—59); метод Виккерса (ГОСТ 2999—75).

Измерение твердости вдавливанием стального шарика по методу Бринелля заключается в том, что с помощью твердомера ТШ в поверхность испытуемого металла вдавливается стальной закаленный шарик диаметром 2,5; 5 или 10 мм под действием статической нагрузки (рис. 6, а). Отношение нагрузки P к площади поверхности полученного отпечатка (лунки) дает значение твердости, обозначаемое $HВ$.

Диаметр отпечатка измеряют с помощью специальной лупы с делениями. Чтобы не прибегать к длительным и довольно сложным вычислениям твердости, на практике пользуются специальной таблицей, приложенной к ГОСТ, которая дает перевод диаметра отпечатка в число твердости $HВ$ (см. Приложение).

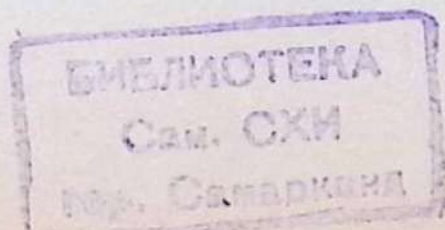
Измерение твердости по методу Роквелла основано на вдавливании в испытуемый металл с помощью прибора ТК стального закаленного шарика диаметром

1,59 мм (1/16 дюйма) — для мягких металлов и сплавов или алмазного конуса с углом при вершине 120° — для особо твердых сталей и сплавов. На индикаторе прибора ТК три шкалы: А, В и С. При испытании алмазным конусом под нагрузкой 1500 Н отсчет числа твердости производят по шкале С индикатора и обозначают *HRC*, под нагрузкой 600 Н — по шкале А и обозначают *HRA*, а при испытании стальным шариком под нагрузкой 1000 Н — по шкале В и обозначают *HRB*.

Метод измерения твердости металла по Виккерсу *HV* (ГОСТ 2999—75) принципиально не отличается от метода Бринелля. С помощью прибора ТП вдавливают в металл алмазную четырехгранную пирамиду с углом при вершине $\alpha = 136^\circ$ (рис. 6, б), а затем по длине диагонали полученного отпечатка с помощью таблицы находят число твердости. Этим методом пользуются для измерения твердости закаленных сталей, материалов деталей толщиной до 0,3 мм и тонких наружных цементированных, азотированных и других слоев деталей.

Испытания на ударную вязкость, усталость и ползучесть. Важным свойством металлов является их способность сопротивляться ударным, циклическим (повторно-переменным) нагрузкам и нагрузкам при высоких температурах. *Ударную вязкость* определяют на маятниковых копрах, где автоматически фиксируется угол подъема маятника после разрушения стандартного образца; затем по таблице находят работу удара, затраченную на излом образца (в Дж). На некоторых типах копров работу удара (вязкость) определяют по дисковому указателю прибора. Циклические испытания на *усталость* проводят для тех материалов и деталей машин, которые работают при многократных повторно-переменных нагрузках: нагружение—разгружение; растяжение—сжатие и т. п.. Усталостное разрушение наблюдается у пружин, рессор, валов, шатунов и др.

Свойство металла противостоять усталости называют выносливостью. Испытания на усталость (выносливость) выполняют на специальных машинах в зависимости от характера работы деталей машин. Наиболее распространенными являются: машины для испытания изгибом при вращении, машины для испытания



при растяжении — сжатии, машины для испытания при кручении.

При высоких температурах, вызывающих *ползучесть*, работает большинство деталей паровых и газовых турбин (лопатки, диски, валы), трубопроводы для передачи под давлением горячих газов и паров, детали реактивных двигателей и др. Во всех этих случаях главным показателем качества применяемого металлического сплава является его стойкость против ползучести. Испытания на ползучесть производят по методике, изложенной в ГОСТ 3248—60.

7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Машиностроительные материалы, выбираемые для деталей машин и конструкций, должны обладать технологическими свойствами: легко поддаваться обработке режущими инструментами; хорошо заполнять литейную форму, а после охлаждения давать плотную и однородную отливку (*жидкотекучесть*); при сварке образовывать неразъемное прочное соединение (*свариваемость*); поддаваться пластической деформации от ударов или давления в холодном и нагретом состоянии без разрушения (*ковкость*). В ряде случаев для качественной или сравнительной оценки машиностроительные материалы подвергают технологическим пробам, т. е. испытаниям на деформации, подобные тем, которые металл испытывает в производственных условиях. Методики проведения наиболее применяемых технологических проб указаны в соответствующих ГОСТах. В качестве примеров приведем некоторые технологические пробы.

Проба на изгиб выполняется по ГОСТ 14019—68 для плоского, фасонного и специального проката, труб, отливок сварных швов в холодном и нагретом состоянии с целью определения способности металла принимать заданный по размерам и форме изгиб без появления трещин, надрывов, расслоения и излома. Различают изгиб на определенный угол (рис. 7, а), до параллельности сторон (рис. 7, б) и до соприкосновения сторон (рис. 7, в).

Пробу на навивание (ГОСТ 10447—63) применяют для проволоки из черных и цветных металлов диаме-

тром от 0,2 до 10 мм. Кусок проволоки навивают вплотную на оправку заданного диаметра или на такую же проволоку. Число витков должно быть от 5 до 10 (рис. 7, *з*).

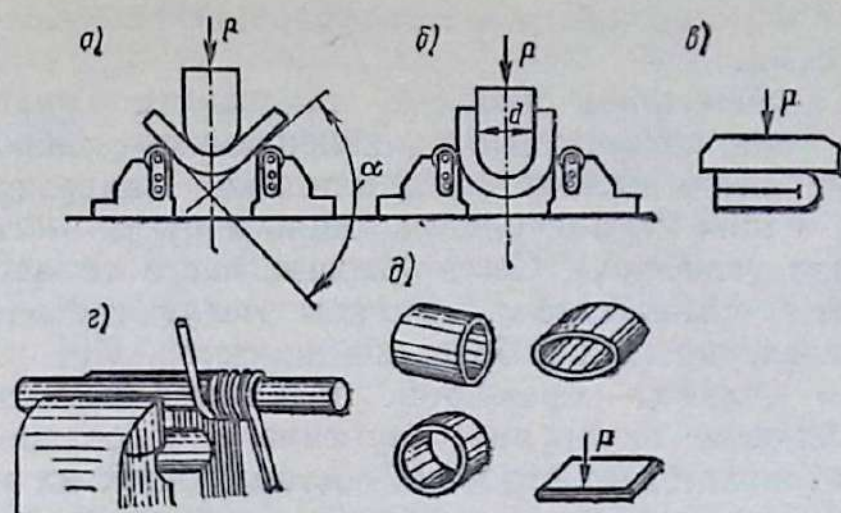


Рис. 7. Технологические пробы: *а* — изгиб на определенный угол; *б* — изгиб до параллельности сторон; *в* — изгиб до соприкосновения сторон; *г* — на навивание; *д* — на сплющивание труб

Пробу на сплющивание труб выполняют ударами молотка (молота, кувалды) или под прессом по методике согласно ГОСТ 8695—75 (рис. 7, *д*). Образец, выдержавший пробу, не имеет трещин или надрывов.

ГЛАВА 2

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ СПЛАВОВ

Чистые металлы не всегда удовлетворяют требуемым свойствам. Поэтому широкое применение в технике получили сплавы. Преимущество сплавов состоит в том, что они могут быть получены с почти любыми заданными свойствами.

Задача современной науки состоит в том, чтобы добиться получения сплавов, свойства которых отвечают требованиям самой передовой техники. Однако это не всегда возможно в земных условиях. Эксперимент по

получению уникального по свойствам сплава алюминия с вольфрамом был выполнен во время совместного советско-американского космического полета на корабле «Союз—Аполлон». В земных же условиях эти металлы не сплавляются ввиду очень большой разницы в их плотностях.

Металлическими сплавами называются кристаллические тела, полученные сплавлением металлов с металлами или металлов с неметаллами. Например, латунь — сплав меди с цинком, сталь и чугун — сплавы железа с углеродом. Составляющие части сплавов называются компонентами. Сплавы могут состоять из двух, трех, четырех и более компонентов. При затвердевании сплавов образуются различные соединения, определяющие внутреннее строение сплавов, которое резко отличается от строения составляющих их металлов. Поэтому свойства сплавов отличны от свойств их компонентов и по физико-химическим, и по механическим параметрам.

В зависимости от характера соединения компонентов при затвердевании получают различные структуры сплавов: а) механическая смесь; б) твердый раствор; в) химическое соединение.

В механической смеси находятся кристаллы всех соединившихся компонентов. В твердом растворе сохраняется одна решетка того компонента, который является растворителем, атомы же растворенного компонента располагаются в решетке растворителя. В химических соединениях получают кристаллы с совершенно новыми свойствами. От строения сплавов зависят их свойства. Так, твердые растворы хорошо закаляются, куются, сопротивляются ударным нагрузкам; химические соединения обладают высокой твердостью; механические смеси имеют высокие литейные свойства.

8. ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СПЛАВАХ

Сплавы имеют более сложное строение, чем чистые металлы, и процессы их кристаллизации существенно отличаются от процессов кристаллизации чистых металлов. Основное отличие состоит в том, что сплавы кристаллизуются не при одной, строго определенной температуре, а в интервале температур, т. е. имеются тем-

пературы начала и конца кристаллизации. Температуры, при которых изменяется строение металлов и сплавов, называются критическими точками.

Таким образом, при плавлении и затвердевании металлы имеют одну критическую точку, а сплавы — две. В интервале между этими двумя точками в сплавах существуют две фазы — жидкий сплав и кристаллы. Процессы кристаллизации сплавов играют очень важную роль: они определяют режимы термической обработки, выбор сплавов для литья,ковки и т. д. Температуры кристаллизации металлов изучены и занесены в таблицы. Сплавов с различной концентрацией компонентов можно получить тысячи. Практически изучить температуры кристаллизации каждого из них невозможно. Поэтому учеными созданы особые диаграммы состояния сплавов, в которых графически отображены характер и состояние сплавов при изменении их состава и температуры.

9. ПОНЯТИЕ О ДИАГРАММАХ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ

Диаграммы состояния сплавов дают возможность правильно выбрать сплав, характеризуют его поведение при обработке, физические и механические свойства. Существуют различные типы диаграмм состояния в зависимости от числа компонентов и строения сплава. Здесь рассматриваются диаграммы состояния сплавов из двух компонентов: свинец—сурьма, алюминий—кремний, медь—никель и другие.

Диаграмма состояния 1-го рода характеризует сплавы (например, свинца с сурьмой), у которых компоненты в жидком виде полностью растворимы, а в твердом образуют механическую смесь. Для построения этой диаграммы выбирают три-четыре сплава различной концентрации, перенасыщенных либо свинцом, либо сурьмой, и на вспомогательной диаграмме температура—время (рис. 8 слева) наносят, пользуясь данными наблюдений температуры кристаллизации чистого свинца и чистой сурьмы, а также нижеперечисленных сплавов: 1) 95% Pb; 5% Sb; 2) 90% Pb; 10% Sb; 3) 87% Pb; 13% Sb; 4) 60% Pb; 40% Sb. Вначале вычерчивают кривые кристаллизации Pb и Sb (1 и 6). Свинец кристаллизуется при 327° С, сурьма — при 631° С. Их кристаллизация отмечена горизонтальным участком кривой.

Первый сплав (кривая 2) начинает кристаллизоваться при 300°C с выделением избыточных кристаллов свинца. Оставшаяся часть сплава бедна свинцом, значит, концентрация сурьмы в ней возрастает, и, когда она достигает 13%, при 246°C происходит окончательная кристаллизация (см. горизонтальный участок кривой). Второй сплав (кривая 3) кристаллизуется аналогично первому, но точка начала кристаллизации у него ниже, а кончается кристаллизация также при 246°C ,

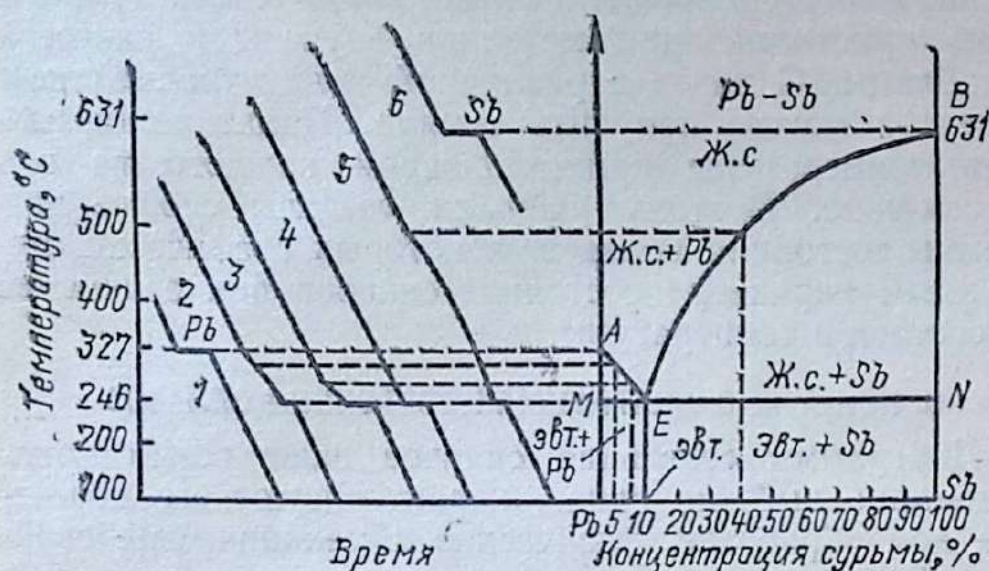


Рис. 8. Диаграмма состояния сплавов свинец—сурьма

когда концентрация сурьмы достигает 13%. Третий сплав (кривая 4) кристаллизуется полностью при одной температуре (246°C) с одновременным выпадением кристаллов свинца и сурьмы. Четвертый сплав (кривая 5) начинает кристаллизоваться при 400°C с выделением избыточных кристаллов сурьмы. В жидком сплаве сурьмы становится все меньше, и, когда ее содержание снизится до 13%, при 246°C произойдет окончательная кристаллизация.

Все точки начала и конца кристаллизации свинца, сурьмы и указанных четырех сплавов перенесем на основную диаграмму. Соединив все точки начала кристаллизации, получают линию AEB . Эта линия называется *ликвидусом*. Все сплавы, лежащие выше ликвидуса, находятся в жидком состоянии. Линия MEN называется *солидусом*. Ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии. В интервале между лик-

видусом и солидусом имеются две фазы: жидкий сплав (ж. с.) и кристаллы одного из компонентов. В области *МАЕ* — жидкий сплав и кристаллы свинца, а в области *ЕВN* — жидкий сплав и кристаллы сурьмы.

Сплав, содержащий 13% сурьмы, кристаллизующийся при одной температуре, называется *эвтектическим*. Он имеет самую низкую температуру кристаллизации и отличается равномерной структурой. Сплавы, содержащие менее 13% сурьмы, лежащие влево от эвтектики, называются *дозэвтектическими*, а более 13% сурьмы — *заэвтектическими*. Структуры эвтектического, доэвтектического и заэвтектического сплавов сильно различаются между собой. Эвтектика — структура с равномерно распределенными компонентами. В доэвтектических сплавах наряду с эвтектикой имеются кристаллы свинца, в заэвтектических — наряду с эвтектикой кристаллы сурьмы.

Различие структур определяет различие свойств, сплавов. Для определения состояния сплава при любой температуре и нахождения точек кристаллизации с помощью диаграммы нужно из точки концентрации данного сплава восстановить перпендикуляр до пересечения с линиями ликвидуса и солидуса. Точки пересечения перпендикуляра укажут начало и конец кристаллизации.

Практическое применение диаграммы свинец—сурьма находят, например, при выборе подшипникового сплава. Пользуясь этой диаграммой, установили, что наиболее пригодными для подшипниковых сплавов являются заэвтектические сплавы, состоящие из мягкой эвтектики и твердых вкраплений сурьмы. Мягкая основа несколько изнашивается, а твердые кристаллы сурьмы сохраняются, и поэтому в микроуглублениях мягкой основы хорошо удерживается смазка. Наиболее подходящими сплавами для подшипников из всех заэвтектических оказались сплавы с содержанием 15—20% *Sb*, так как температуры кристаллизации (плавления) этих сплавов (340—360° С) соответствуют температурам, при которых происходит заливка подшипников.

Диаграмма 2-го рода соответствует сплавам, у которых компоненты и в жидком и в твердом состоянии образуют раствор. К ним относятся сплавы медь—

никель, железо—никель и др. Диаграмма состояния сплавов медь—никель приведена на рис. 9.

Кривая 1 относится к чистой меди, точка кристаллизации которой 1083°C , а кривая 5 — к никелю, точка кристаллизации которого 1452°C . Кривая 2 характеризует кристаллизацию 20%-ного сплава никеля (или 80%-ного сплава меди). Началу кристаллизации этого сплава соответствует точка *a*, когда кристаллизуется

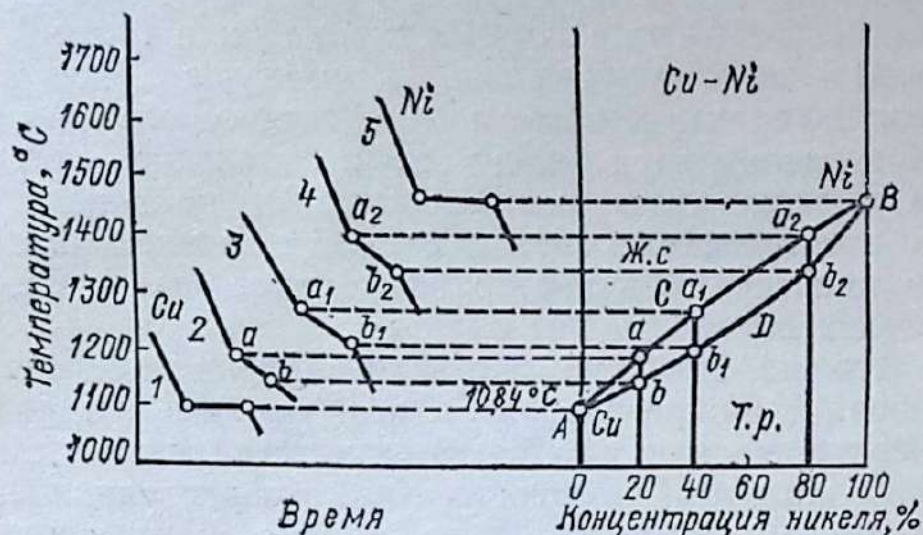


Рис. 9. Диаграмма состояния сплавов медь—никель

решетка меди, в которой имеется 20% никеля. В точке *b* кристаллизация заканчивается.

Аналогично кристаллизуется 40%-ный (кривая 3) и 80%-ный (кривая 4) сплавы никеля, однако точки начала (*a*₁ и *a*₂) и конца (*b*₁ и *b*₂) кристаллизации у первого сплава ниже, чем у второго.

Перенеся все точки начала и конца кристаллизации меди и никеля и указанных выше сплавов на основную диаграмму (рис. 9 справа) и соединив эти точки, получим линию ликвидуса *AaB* и линию солидуса *AbB*. Выше линии *AaB* сплавы меди с никелем находятся в жидком состоянии, а ниже линии *AbB* — в твердом. В зоне между *AaB* и *AbB* имеются две фазы: жидкий сплав и кристаллы твердого раствора никеля в меди. Диаграмма 2-го рода отличается от диаграммы 1-го рода тем, что здесь образуется одна кристаллическая решетка, а значит, нет и эвтектического сплава, как это наблюдается у сплавов, образующих механическую смесь.

Диаграмма 3-го рода, соответствующая сплавам, которые в результате затвердевания образуют химические соединения, в данном учебнике не рассматривается. В некоторых сплавах могут одновременно находиться механическая смесь, твердый раствор и химическое соединение. Примером служат железоуглеродистые сплавы — сталь и чугун, подробно рассматриваемые в главе 3.

10. СТРУКТУРНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Большое влияние на свойства железоуглеродистых сплавов оказывает не только состав, но и внутреннее строение, изменяя которое, можно добиться значительного улучшения свойств. Железоуглеродистые сплавы имеют сложное строение. Это объясняется различием их кристаллической решетки и модификаций соединений железа с углеродом. В результате этого различия образуются следующие структуры стали: феррит, аустенит, цементит и перлит.

Феррит — это твердый раствор углерода в α -железе. Существует в стали до 727°C . Содержание углерода незначительно: максимальное количество 0,02% достигается при 727°C , минимальное 0,006% — при комнатной температуре. Это самая мягкая структура стали: твердость *HV* 80—100.

Аустенит — это твердый раствор углерода в γ -железе. Отличается высокой растворимостью углерода, содержание которого составляет до 2% при 1147°C ; немагнитен. В углеродистых сталях аустенит начинает получаться при температуре выше 727°C . Имеет невысокую твердость *HV* 170—220, достаточную прочность, хорошую пластичность.

Цементит (или карбид железа Fe_3C) — химическое соединение железа с углеродом; максимальное содержание углерода в нем 6,67%. Это самая твердая структура стали: твердость *HV* 700—800.

Перлит — равномерная механическая смесь феррита с цементитом, содержащая 0,8% углерода; может существовать в стали при температуре ниже 727°C . Различают пластинчатый перлит с цементитом в виде пластинок, и зернистый перлит с цементитом в виде зерен.

11. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗО—УГЛЕРОД

В диаграмме состояния железо—углерод (цементит) рассматриваются процессы кристаллизации, протекающие в железоуглеродистых сплавах (стали и белом чугуна), и превращения в их структурах, полученные при медленном охлаждении от расплавленного состояния до комнатной температуры (рис. 10). По

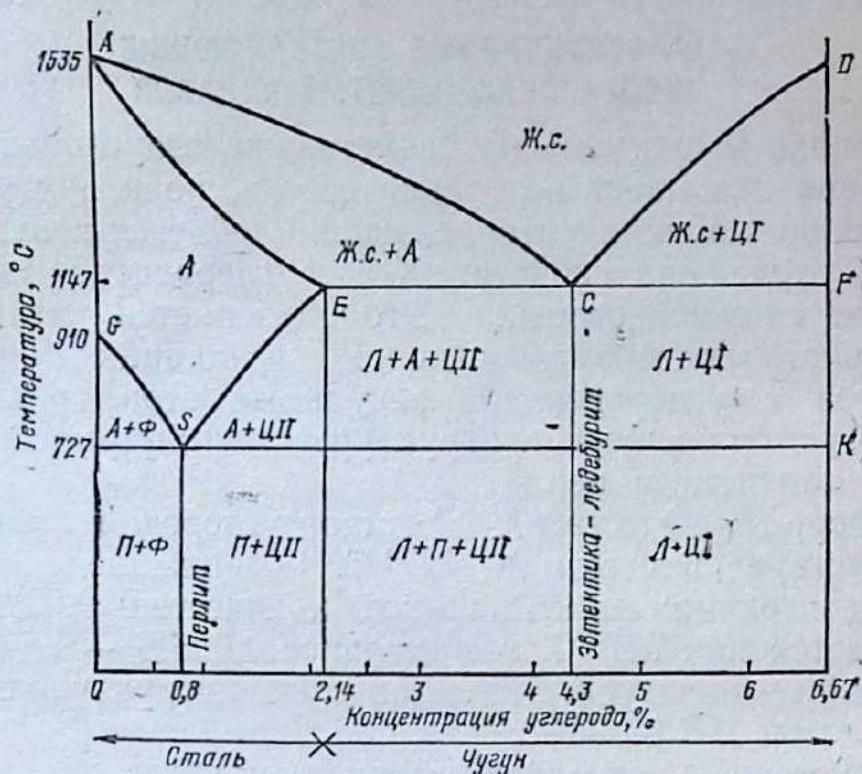


Рис. 10. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов

вертикали откладывают температуру, по горизонтали — концентрацию углерода от 0 до 6,67% (более 6,67% углерода в железе не растворяется). Сплавы, содержащие углерода до 2,14%, — это сталь, а от 2,14 до 6,67% — чугун. Кристаллизация всех железоуглеродистых сплавов начинается при температурах, лежащих на линии ACD (ликвидус). По линии AC кристаллизуется аустенит A , по линии CD — цементит первичный $ЦГ$. Линия $AECF$ является солидусом, ниже этой линии все сплавы железа с углеродом находятся в твердом состоянии.

После затвердевания в железоуглеродистых сплавах образуются различные структуры. В чугуне обра-

зуется механическая смесь кристаллов аустенита и цементита ЦИ . Чугун, содержащий 4,3% углерода, кристаллизуется при одной температуре 1147°C . Его структура представляет равномерную механическую смесь аустенита и цементита ЦИ . Такой чугун называется эвтектическим или ледебуритным Л . Чугуны, содержащие менее 4,3% углерода, называются доэвтектическими, их кристаллизация начинается при температурах, лежащих на линии AC , с выделением аустенита, и кончается при температурах, лежащих на линии EF , при этом образуются структуры $\text{Л} + \text{А} + \text{ЦИ}$. ЦИ при понижении температуры выделяется из аустенита. При дальнейшем понижении температуры из аустенита продолжает выделяться цементит ЦИ и, когда его остается 0,8%, при температуре 727°C аустенит переходит в перлит П . Таким образом, в доэвтектических чугунах при полном медленном охлаждении образуются структуры $\text{Л} + \text{П} + \text{ЦИ}$.

Чугуны, содержащие более 4,3% углерода, называются заэвтектическими. Их кристаллизация начинается на линии CD с выделением цементита первичного и заканчивается на линии CF . При полном медленном охлаждении в заэвтектических чугунах образуется структура $\text{Л} + \text{ЦИ}$. Следует отметить, что в составе ледебурита при температуре ниже 727°C аустенит переходит в перлит. В практике большое значение имеют доэвтектические чугуны. Они служат для получения ковкого чугуна, о котором будет коротко рассказано ниже.

Главную роль в процессах термической обработки стали играют структурные превращения. В результате затвердевания в стали образуется аустенит. При понижении температуры аустенит претерпевает вторичную кристаллизацию, связанную с изменением формы кристаллической решетки и растворимостью углерода, т. е. с выделением из аустенита феррита и цементита вторичного. В точке S , соответствующей содержанию углерода 0,8%, при 727°C аустенит распадается и образуется равномерная смесь феррита с цементитом — перлит П . Эта сталь называется эвтектоидной. Сталь, содержащая менее 0,8% углерода, называется доэвтектоидной, а более 0,8% — заэвтектоидной. Распад аустенита в доэвтектоидной стали начинается при темпера-

турах, лежащих на линии GS , с выделением феррита Φ . При дальнейшем понижении температуры концентрация углерода в оставшемся аустените возрастает, и когда она достигает 0,8%, при 727° С аустенит переходит в перлит. Таким образом, в доэвтектоидной стали при полном медленном охлаждении получают структуры $\Pi + \Phi$.

В заэвтектоидной стали начало распада аустенита идет по линии SE с выделением ЦIII . Когда остается 0,8% углерода, он при 727° С переходит в перлит. Таким образом, в заэвтектоидной стали при полном медленном охлаждении получают структуры $\Pi + \text{ЦIII}$. Линия GSE называется линией верхних критических точек или линией начала распада аустенита (при охлаждении). Эта линия на диаграмме обозначается A_{c3} при нагревании и A_{r3} при охлаждении. Линия PSK (727° С) называется линией нижних критических точек, линией конца распада аустенита при охлаждении или линией перлитных превращений. На диаграмме она обозначается A_{c1} при нагреве и A_{r1} при охлаждении. Диаграмма железо—углерод имеет важное практическое значение, так как на превращениях в структурах стали и чугуна основана термическая обработка, а термическая обработка изменяет и улучшает свойства сплавов. Подробно диаграмма железо—углерод рассматривается в гл. 4 (рис. 18).

ГЛАВА 3

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

К железоуглеродистым сплавам относятся чугун и сталь. Чугун — самый дешевый машиностроительный материал, обладающий хорошими литейными свойствами. Кроме того он является исходным продуктом для получения стали.

12. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОИЗВОДСТВЕ ЧУГУНА. ДОМЕННЫЙ ПРОЦЕСС. ПРОДУКТЫ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Чугун получают из железной руды с помощью топлива и флюсов. Железная руда — это горная порода, содержащая железо в количестве, выгодном для пере-

работки. Железо в рудах находится в виде окислов (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 и др.). В составе руды имеется пустая порода (глина, песок), иногда фосфор. Топливом при производстве чугуна служит кокс и природный газ. Флюс — известняк применяется для перевода в шлак пустой породы, вредных примесей, а также для удаления золы и серы из кокса. Перед плавкой железную руду освобождают частично от пустой породы. Эффективным методом является получение агломерата путем спекания порошкообразных руд, рудной пыли с коксовой мелочью и с добавлением известняка. Чугун выплавляют в доменных печах.

Устройство и работа доменной печи. Доменные печи выложены огнеупорным кирпичом сверху покрыты стальным кожухом. Высота современных доменных печей достигает 100 м. В СССР построены самые большие доменные печи полезным объемом 5000 м³, производительностью 6000 т в сутки. Схема устройства доменной печи представлена на рис. 11. Доменная печь состоит из 5-ти основных частей: колошника, шахты, распара, заплечиков и горна.

В колошник *I* подаются сырые материалы: руда, кокс, флюсы. В шахте *II* происходит высушивание руд и восстановление железа. В распаре *III* начинается плавление металла и образование шлака. В заплечиках *IV* образуется чугун и шлак. Важнейшая часть доменной печи — горн *V*. В горне находятся фурмы *1* — устройства для вдувания в печь горячего воздуха, который попадает из воздухопровода *2*. В нижней части горна расположены летки *3* для выпуска шлака и летки *4* для выпуска чугуна. На крупных доменных печах имеется три или четыре летки для выпуска чугуна, этим достигается

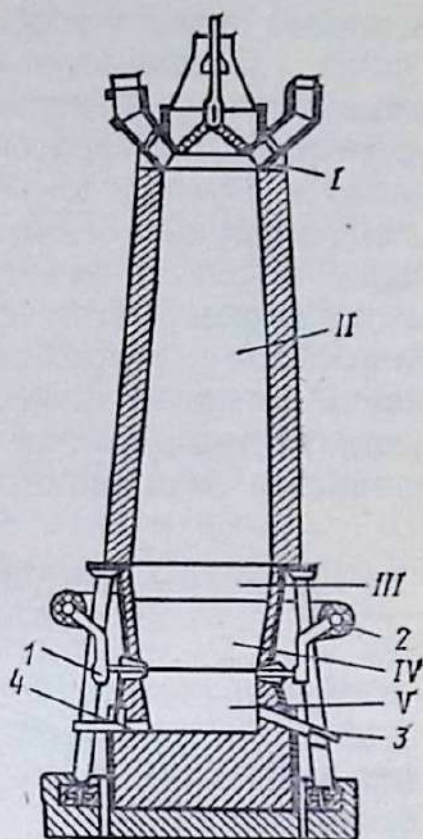


Рис. 11. Схема устройства доменной печи

непрерывность металлургического процесса. Подогрев воздуха до 1200—1300° С производят в воздухонагревателях.

Доменный процесс. Получение чугуна — сложный химический процесс. Он состоит из трех стадий: восстановления железа из окислов; превращения железа в чугун; шлакообразования. Восстановление железа из руды идет по схеме: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$. Часть окислов железа восстанавливается твердым углеродом кокса. Полученное железо соединяется с углеродом кокса, который растворяется в железе, или вступает с железом в химическое соединение. Получается сплав железа с углеродом. В процессе плавки в чугун попадают из руды кремний, марганец и фосфор, из кокса — сера. В результате получается сложный сплав железа с углеродом и примесями: марганцем, кремнием, серой и фосфором, называемый чугуном. Кроме чугуна в процессе доменной плавки получается шлак, он используется в строительстве. Третий продукт плавки — газ — является топливом.

13. ЧУГУНЫ. СОСТАВ, СВОЙСТВА, СОРТА, МАРКИРОВКА, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Чугун состоит из железа (до 92%) и углерода (от 2,14 до 5%), кроме того, имеются примеси кремния (до 4,3%), марганца (до 2%), серы (до 0,07%), фосфора (до 1,2%).

Влияние примесей чугуна на его свойства. Углерод в чугуне бывает в двух видах: 1) в свободном состоянии — в виде графита; 2) в химическом соединении с железом, называемом цементитом. Если углерод в чугуне находится в виде графита, чугун имеет в изломе серый цвет и называется *серым*; если в виде цементита — этот чугун называется *белым*. Кремний способствует получению серого чугуна, а марганец — белого. Сера и фосфор — вредные примеси. Сера придает хрупкость чугуну, делает его густотекучим и пузырчатым. Фосфор увеличивает хрупкость чугуна, но делает его жидкотекучим. Серый и белый чугуны резко различаются по свойствам. Белые чугуны очень твердые и хрупкие, плохо отливаются, плохо обрабатываются инструментом, идут на переплавку в сталь и называются

переделными чугунами. Часть белого чугуна идет на получение ковкого чугуна. Серые чугуны — это литейные чугуны: они обладают хорошими литейными качествами — жидкотекучестью, мягкостью, хорошо обрабатываются, сопротивляются износу. Серые чугуны с высоким содержанием фосфора (0,3—1,2%) жидкотекучи и используются для художественного литья. Серый чугун поступает в производство в виде отливок и характеризуется прочностью и твердостью.

Согласно ГОСТ 1412—70 установлены следующие марки отливок из серого чугуна: СЧ 00, СЧ 120-280, СЧ 150-320, СЧ 180-360, СЧ 210-400, СЧ 240-440, СЧ 280-480, СЧ 320-520, СЧ 360-560, СЧ 400-600, СЧ 440-640. СЧ обозначает серый чугун. Первое число показывает предел прочности (в МПа) при испытании на разрыв, а второе — предел прочности при испытании на изгиб. Чугун марки СЧ 00 не испытывается. Кроме указанных чугунов применяются легированные чугуны, которые наряду с обычными примесями содержат легирующие элементы: хром, никель, титан и другие. Эти элементы улучшают твердость, прочность, износоустойчивость или сопротивление ржавлению и т. д. Различаются хромистые, титановые, никелевые чугуны. Их применяют для изготовления коленчатых валов, деталей автомобилей, поршневых колец, дизелей и т. д.

Специальные чугуны или ферросплавы имеют повышенное содержание кремния или марганца. К ним относится ферромарганец, содержащий до 25% марганца; ферросилиций, содержащий 9—13% кремния и 15—25% марганца. Эти чугуны применяются при плавке стали для ее раскисления, т. е. для отнятия у стали вредной примеси — кислорода.

Ковкие чугуны, получаемые термообработкой из белого чугуна, пластичнее серого и применяются в сельскохозяйственной технике, для звеньев цепей, тормозных колодок и т. д. Например, в марках КЧ 330-8, КЧ 370-12, КЧ 630-2 КЧ означает ковкий чугун, первое число показывает предел прочности на разрыв, второе число, стоящее после тире, — относительное удлинение в %, характеризующее пластичность.

Высокопрочные чугуны применяют для более ответственных изделий, заменяя сталь. В марках ВЧ 450-5, ВЧ 600-2, ВЧ 1200-4 ВЧ означает высокопрочный чу-

гун, а числа означают то же, что и в марках ковкого чугуна. Высокопрочный чугун получают введением в жидкий чугун магния или силикокальция.

14. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ СТАЛИ ИЗ ЧУГУНА. СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ. ПРОЦЕССЫ ПЛАВКИ

Сталь — важнейший материал промышленности. Основное ее отличие от серого чугуна состоит в том, что сталь содержит меньше углерода и вредных примесей. Для получения стали из чугуна следует удалить часть

углерода и этих примесей. Основные способы производства стали: конверторный, мартеновский и электрический.

Конверторный способ. Ранее конверторную сталь выплавляли в бессемеровских и томасовских конверторах путем продувки жидкого чугуна воздухом. Теперь эти способы заменены более прогрессивным и производительным — кислородно-конверторной плавкой. Кислородно-конверторная плавка основана на продувке жидкого чугуна кислородом, подводимым сверху в конвертор. Производительность конверторов достигает 350 т за одну плавку. Современный 250-тонный конвертор имеет высоту 9 м и диаметр 11 м. Конвертор установлен на станинах и имеет механизм вращения. В нижней части конвертора — глу-

Рис. 12. Схема устройства кислородного конвертора:

1 — ванна; 2 — водоохлаждаемая фурма; 3 — отверстие для слива чугуна

хое дно, в верхней — открытая горловина, через которую загружают чугун, металлолом и флюсы.

Схема кислородного конвертора показана на рис. 12. В горловину вводят водоохлаждаемую кислородную фурму, установленную на высоте 400—600 мм над уровнем расплава, и начинают вдувать кислород. Вначале окисляются кремний, марганец, фосфор, которые переходят в шлак. Шлак сливают. Затем вводят известь для ошлакования серы. Одновременно выго-

рает углерод. Процесс идет с бурным выделением тепла, поэтому топливо не требуется. Температура достигает 2500°C . В конце плавки сталь раскисляют, т. е. отнимают кислород от FeO . Плавка в 250-тонном конверторе длится 50—55 мин. Преимущества кислородно-конверторного способа следующие: не требуется больших капитальных затрат, высокая производительность, качество стали не уступает мартеновской. Сейчас ведутся работы по созданию систем автоматического управления кислородно-конверторной плавкой с помощью ЭВМ. С учетом указанных преимуществ, а также того, что в этом процессе не требуется топлива, коэффициент использования тепла составляет около 70%; это немного выше, чем в других сталеплавильных агрегатах. В ближайшее время доля кислородно-конверторной стали составит 45% всей выплавки и будет возрастать в дальнейшем за счет сокращения мартеновской плавки.

Мартеновский способ. Сталь в мартеновских печах выплавляется из переделного чугуна, твердого или жидкого, и металлического лома. Иногда вместо лома используют железную руду. Вводят флюсы, главным образом известняк. Топливом служат газы: доменный, коксовальный, природный, а также мазут или нефть.

Схема устройства мартеновской печи представлена на рис. 13. Основная часть печи — рабочее пространство *A*, ограниченное сводом *1*, подом *11*, задней и передней стенками и головками *3* с боковых сторон. В передней стенке имеются завалочные окна *2*, закрываемые заслонками. Через завалочные окна загружают печь, берут пробы, наблюдают за процессом. В нижней части задней стенки имеется одно или два отверстия для выпуска шлака и стали. В головках печи, расположенных симметрично, имеются каналы *4* и *5*, через которые в печь поступают газ (или нефть) и воздух, а также отводятся продукты горения. Подогрев газа и воздуха происходит в регенераторах *6* и *7*, имеющих огнеупорную насадку с вертикальными каналами. В нижней части регенераторы сообщаются с каналами *8* и *9*, по которым поступают газ и воздух и отходят продукты горения. Периодически переключая клапаны *10*, меняют направление газа и воздуха и отходящих продуктов горения. Путем подогрева газа

и воздуха в печи достигается температура примерно 2000°C .

Мартеновский процесс состоит в плавлении, кипении, раскислении. Во время плавления окисляются кремний, марганец, сера и фосфор. Окислы, соединившись с флюсами, переходят в шлак. Затем выгорает углерод и происходит кипение металла. В процессе кипения осуществляется химический контроль. В конце

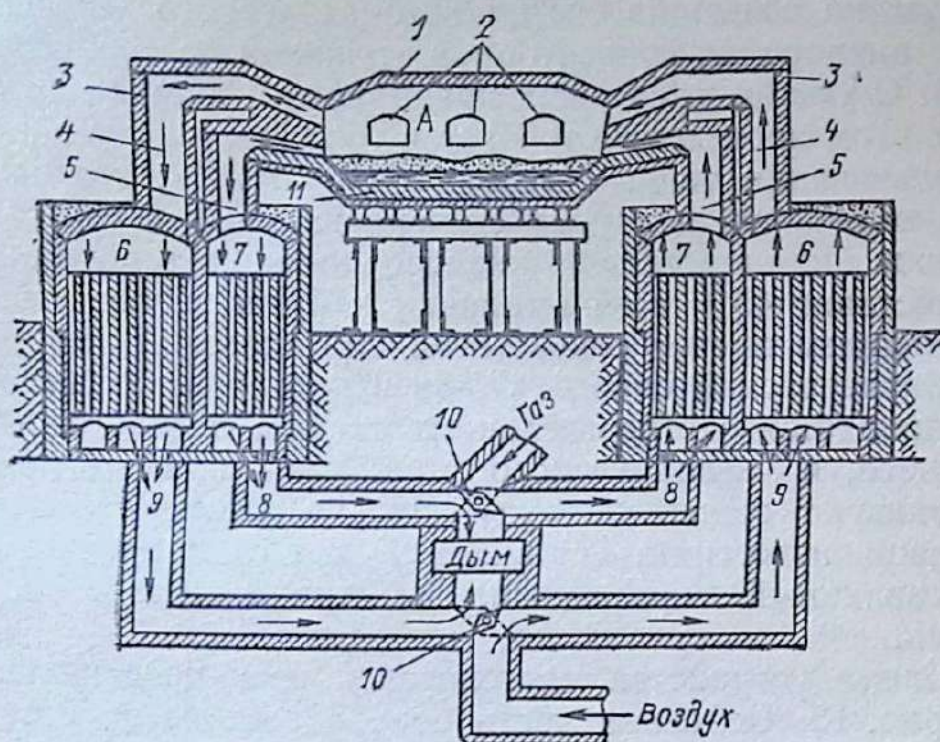


Рис. 13. Устройство мартеновской печи

плавки сталь раскисляют. Процесс длится в зависимости от объема печи 6—14 ч. По характеру раскисления сталь делится на кипящую, полуспокойную и спокойную. Кипящая сталь менее плотная. В ней имеются газовые включения, она применяется для неответственных деталей. В спокойной стали газов нет, она плотнее, используется для рессор, коленчатых валов. В полуспокойной стали находится немного газов, она служит для изготовления проволоки и мостовых конструкций. В ГОСТах на сталь даны индексы раскисленности стали.

Кислородно-конверторный способ экономичнее мартеновского, однако последний еще длительное время будет применяться, поэтому важно повысить его про-

изводительность и понизить себестоимость. Это достигается применением кислорода, что уменьшает расход топлива на 5—10% и увеличивает выплавку стали на 20—30%. Вторым важным фактором является создание двухванной печи (рис. 14) с целью более полного использования теплоты отходящих газов. Когда в правой ванне (II) идет нагрев и плавление твердых материалов, т. е. процессы, требующие наибольшей затраты теплоты, в левой (I) происходит продувка кислородом жидкого чугуна через трубку 1. Выделяющаяся при этом окись углерода CO направляется в правую ванну

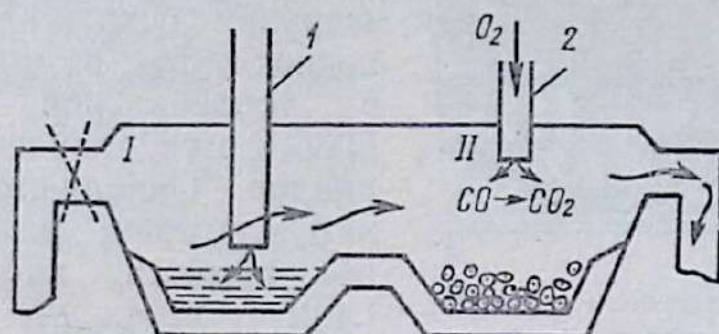


Рис. 14. Устройство двухванной печи

и сгорает над твердыми переплавляемыми материалами при участии O_2 , вдуваемого через трубку 2, превращаясь в CO_2 . Образующаяся теплота способствует более быстрому нагреву металла. После выпуска стали из левой ванны в нее загружают твердые материалы, а в правую заливают чугун и начинают продувку его кислородом. Тогда теплота перемещается справа налево. Плавка в двухванных печах резко увеличивает производительность печи.

Плавка в электрических печах. Электроплавка — важнейший способ получения стали высокого качества для ответственных деталей машин и инструментов. Она имеет ряд преимуществ перед мартеновской и кислородно-конверторной плавкой. Высокая температура позволяет вводить большое количество флюсов, что обеспечивает более полное удаление серы и фосфора. Отсутствие окислительной атмосферы уменьшает содержание окиси железа в стали. В электропечи можно получить стали, легированные тугоплавкими элементами. По производству электростали СССР занимает ведущее место в мире.

Электроплавка производится в дуговых и индукционных печах. Производительность современных дуговых электропечей (рис. 15) достигает 200 т за одну

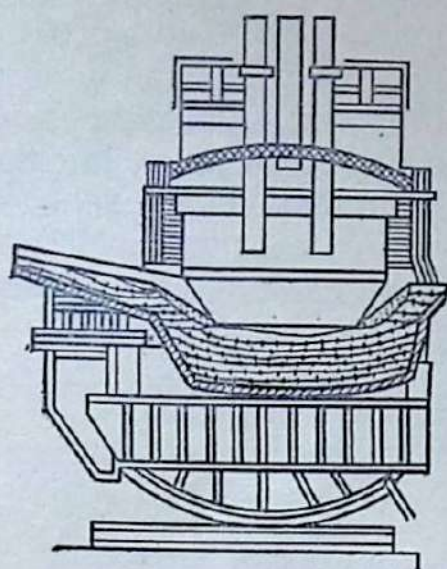


Рис. 15. Дуговая электропечь

плавку. Сталь выплавляется из металлического лома при добавке чугуна (для науглероживания), окалины и железной руды (для окисления примесей). Флюсом служит известняк. Процесс плавки состоит в следующем. После загрузки печи к электродам подводят ток, возникает дуга с температурой 3500°C . Начинается плавление материалов. Окисляются кремний, марганец, фосфор, т. е. все примеси, кроме серы. Окислы переходят в шлак, который сливают, после чего происходит науглероживание

металла и его раскисление. Затем удаляют серу. В конце плавки сталь окончательно раскисляют и доводят до получения нужного состава. При плавке легированной стали в печь вводят специальные ферросплавы.

15. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О НОВЕЙШИХ МЕТОДАХ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЙ СТАЛИ

Способом электрошлакового переплава (ЭШП) получают высококачественные легированные стали. Для этого слиток обыкновенной стали превращают в электрод. Вследствие сопротивления проходящему через него току выделяется большое количество теплоты, отчего электрод плавится. Каждая капля расплавленного металла проходит через слой особого жидкого шлака и очищается от вредных примесей и газов. Другой способ — плазменно-дуговой переплав (ПДП). Источником тепла здесь служит плазменная дуга с температурой до $10\,000^{\circ}\text{C}$. При использовании электронно-лучевого переплава (ЭЛП) плавление происходит под действием потока электронов, излучаемых высоковольтной кобальтовой пушкой, с созданием в плавильном

пространстве глубокого вакуума. Достоинствами всех этих способов является возможность получения стали и сплавов очень высокой чистоты, а также бездефектной стали, применение которой резко сокращает расход металла, облегчает массу конструкций, увеличивает их надежность и долговечность. Такая сталь необходима для атомной, реактивной, космической техники.

Разливка стали. Разливка стали — важная операция, в большой степени определяющая качество готового изделия. Имеются два способа разливки: в изложницы и непрерывная разливка. Разливка в чугунные формы — изложницы имеет много недостатков. Стоимость изложниц велика, крупные слитки нужно обжимать на мощных прокатных станах. Это удорожает процесс, снижает производительность. Неизбежно при этом появление в слитках дефектов, усадочных раковин. Непрерывная разливка стали имеет огромные преимущества перед разливкой в изложницы и лишена ее недостатков. При использовании этого способа сокращается цикл производства, создаются условия для механизации и автоматизации процессов, уменьшаются расходы по переделу.

Схема непрерывной разливки стали представлена на рис. 16. Из разливочного ковша 1 сталь поступает

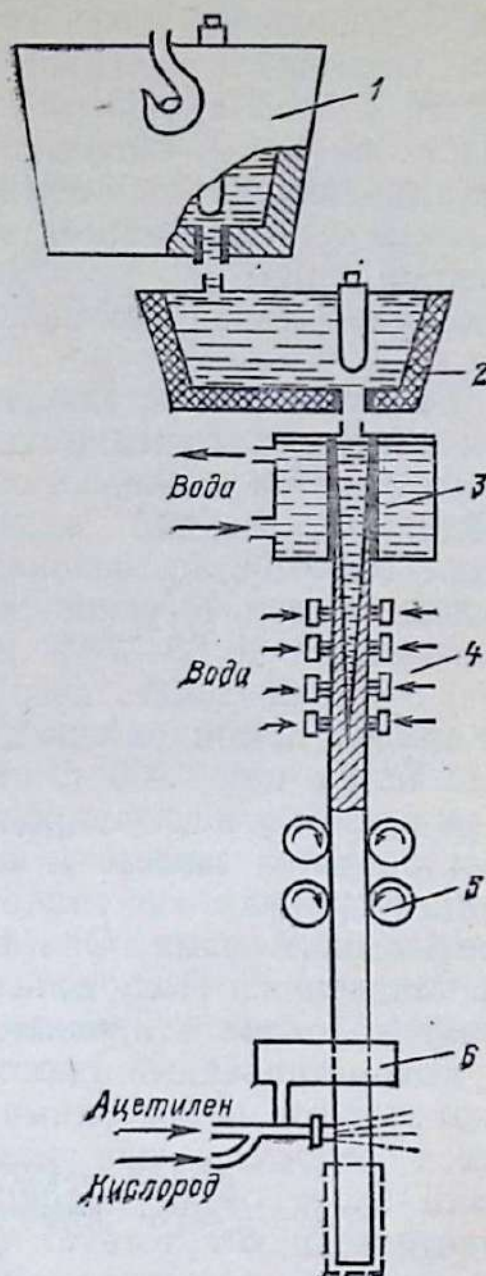


Рис. 16. Непрерывная разливка стали

в промежуточное устройство 2, а затем — в кристаллизатор 3, охлаждаемый водой. Металл вначале кристаллизуется на дне кристаллизатора, образованном плитой — затравкой. Когда металл заполнит кристаллизатор, включают механизм вытягивания, и затравка вместе с формирующимся слитком вытягивается из кристаллизатора, попадает в зону 4 вторичного охлаждения, продвигается вытяжными роликами 5, а затем газовым резаком 6 автоматически разрезается на слитки нужной длины. В решениях XXV съезда КПСС развитию непрерывной разливки стали уделено особое внимание.

Бездоменная металлургия. Прогрессивным способом является получение стали прямым восстановлением из руд, минуя доменный процесс. В 1980-х гг. в строй войдет Оскольский электрометаллургический комбинат (ОЭМК), на котором сталь будут получать из железных руд Курской магнитной аномалии (КМА), содержащих до 60—70% железа. Железистый концентрат будет поступать по пульпопроводу в потоке воды по трубам прямо на завод, где в автоматических шахтных печах при 1000° С спечется в комочки-гранулы. При подаче в печь природного газа в каждой грануле восстановится железо и получатся уже металлизированные гранулы с вкраплениями пустой породы, называемые окатышами. Они поступят в электропечи для расплавления. Полученный металл после разливки сразу направят в прокатные станы.

Рассматриваемый способ очень экономичен. Отпадают затраты на коксохимическое производство, являющееся основным при доменном процессе. Качество стали будет очень высоким, так как в рудах КМА практически отсутствует фосфор, нет примеси серы. Отсутствие окислительной атмосферы в электропечи позволит получать сталь без газовых включений. Такая сталь удовлетворяет самым высоким требованиям передовой техники. Производительность бездоменного процесса очень высокая. Вместимость печей составит 200 т.

Запасы руд КМА неисчерпаемы, состав их постоянен. Это обеспечит дальнейшее развитие бездоменной металлургии и постепенно будет вытеснять дорогое доменное производство.

16. КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛИ ПО СОСТАВУ, НАЗНАЧЕНИЮ И КАЧЕСТВУ

Согласно действующей по ГОСТу классификации сталь по составу делится на углеродистую и легированную.

Углеродистая сталь — это сплав железа с углеродом (до 2,14%) с примесями кремния, марганца, серы и фосфора. Главным элементом, определяющим свойства этой стали, является углерод. Содержание элементов в стали (в %): Fe — 99; C — до 2,14; Si — 0,15—0,35; Mn — 0,2—0,8; S — до 0,07; P — до 0,07. Углерод, находящийся в стали главным образом в виде цементита, повышает твердость, упругость, прочность, уменьшает пластичность и сопротивление ударным нагрузкам. Кремний и марганец в небольшом количестве особого влияния на свойства стали не оказывают. (Влияние большого количества кремния и марганца рассмотрено в разделе «Легированная сталь».) Сера и фосфор — вредные примеси. Сера (в виде соединения FeS) вызывает красноломкость, т. е. хрупкость при высоких температурах (при ковке, прокатке), увеличивает усталость, уменьшает коррозионную стойкость. В то же время сера улучшает обрабатываемость, поэтому на станках-автоматах обрабатывается сталь с содержанием серы до 0,2%. Фосфор сообщает стали высокую хрупкость (хладноломкость) при обычных температурах. Особенно отрицательно влияет фосфор при высоком содержании углерода. Вредной примесью является также кислород.

17. УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ. СВОЙСТВА, МАРКИРОВКА, ПРИМЕНЕНИЕ

Углеродистая сталь классифицируется по назначению и качеству. По назначению она делится на конструкционную и инструментальную.

Конструкционной углеродистой называется сталь, содержащая до 0,6% углерода (как исключение допускается до 0,85%). По качеству конструкционная углеродистая сталь разделяется на две группы: обыкновенного качества и качественная. Сталь обыкновенного качества применяется для неответственных строитель-

ных конструкций, крепежных деталей, листового проката, заклепок, труб и т. д. Качественная конструкционная сталь применяется для деталей, работающих при повышенных давлениях и требующих сопротивления удару: зубчатых колес, винтов, деталей, подлежащих цементации и т. д. В качественной стали меньше серы и фосфора, чем в обыкновенной. На конструкционную углеродистую сталь обыкновенного качества установлен ГОСТ 380—71. Эта сталь выплавляется в кислородных конверторах и мартенах и подразделяется на три группы: группа А, поставляемая по механическим свойствам, группа Б, поставляемая по химическому составу, группа В, поставляемая по механическим свойствам и химическому составу. Для стали группы А установлены следующие марки: Ст0, Ст1, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6, Ст7. Механические свойства стали группы А определяются пределом прочности и пластичностью. Марки и механические свойства сталей группы А указаны в табл. 1 (ГОСТ 380—71).

Т а б л и ц а 1

Механические свойства углеродистых сталей группы А

Марка	Предел прочности σ_B , МПа	Твердость HВ	Относительное удлинение δ , %
Ст0	Не менее 320	—	22
Ст1	320—400	—	33
Ст2	340—420	210	31
Ст3	380—470	220	27—25
Ст4	420—520	240	25—23
Ст5	500—620	270	21—19
Ст6	600—720	300	16—14
Ст7	700 и более	330	11—10

Для стали группы Б установлены марки: БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6. Содержание углерода (в %): в БСт0 — не более 0,23; в БСт1 — 0,06—0,12; в БСт2 — 0,09—0,15; в БСт3 — 0,14—0,22; в БСт4 — 0,18—0,28; в БСт5 — 0,28—0,37; в БСт6 — 0,35—0,45. Содержание серы 0,04%, фосфора 0,05%.

Сталь группы В — улучшенная, с более высокими механическими свойствами, обозначается марками: ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5.

Качественная конструкционная углеродистая сталь поставляется по химическому составу и механическим свойствам, выплавляется в кислородных конверторах и мартенах. Согласно ГОСТ 1050—74 установлены следующие марки качественной конструкционной углеродистой стали: 05кп, 08кп, 08сп, 08, 10кп, 10сп, 10пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г. Две цифры в марках показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, буква Г обозначает повышенное содержание марганца, который улучшает износостойчивость. Индекс кп обозначает кипящую сталь, пс — полуспокойную, сп — спокойную. Таким образом, в стали 15 содержание углерода в среднем 0,15%, в стали 40 — 0,40% (см. Приложение).

Качественную конструкционную сталь применяют для осей, болтов, шатунов, коленчатых валов, шпинделей и т. д. К конструкционным углеродистым сталям относится и автоматная, с повышенным содержанием серы. Марки этой стали: А12, А20, А30, А35, А40. Буква А в начале марки обозначает автоматную сталь; число, стоящее за буквой А, показывает содержание углерода в сотых долях процента. Содержание серы — от 0,06 до 0,2%, фосфора — от 0,06 до 0,15%. Из этой стали изготавливают на станках-автоматах мелкий неотвеченный крепеж.

Инструментальной углеродистой сталью называется сталь, содержащая углерода 0,7% и более. Она отличается твердостью и прочностью. Эта сталь делится на качественную и высококачественную. Марки качественной стали (ГОСТ 1435—74): У7, У8, У8Г, У9, У10, У11, У12, У13; высококачественной: У7А, У8А, У8ГА, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А. Буква У обозначает углеродистую инструментальную сталь. Цифры, стоящие за буквой У, показывают среднее содержание углерода в десятых долях процента. Буква А в конце марки обозначает высококачественную сталь. Буква Г означает повышенное содержание марганца. В качественной стали содержится не более 0,03% серы, не более 0,035% фосфора; в высококачественной стали — 0,02% серы, 0,03% фосфора.

По твердости качественная и высококачественная стали не различаются, но высококачественные стали

менее хрупки, лучше противостоят ударным нагрузкам. Из инструментальной углеродистой стали изготавливают зубила, молотки, напильники, сверла, отвертки, штампы и т. д. К недостаткам углеродистой стали относятся: отсутствие сочетания твердости и прочности с пластичностью; потеря твердости и прочности при 200°C ; высокий коэффициент теплового расширения; низкая коррозионная стойкость.

Современная техника предъявляет к стали очень высокие требования в отношении физических, химических и механических свойств, которым углеродистая сталь не всегда удовлетворяет. Поэтому широкое применение получила легированная сталь.

18. ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ. СВОЙСТВА, МАРКИРОВКА, ПРИМЕНЕНИЕ

В легированной стали наряду с обычными примесями имеются легирующие элементы: хром, вольфрам, молибден, никель, а также кремний и марганец в большом количестве. Легированная сталь обладает ценнейшими свойствами, которых нет у углеродистой стали, и не имеет ее недостатков. Применение легированной стали экономит металл, повышает долговечность изделий, увеличивает производительность. В прогрессивной технике эта сталь имеет решающее значение.

Легирующие элементы оказывают разностороннее влияние на свойства стали. Хром повышает твердость, уменьшает ржавление; никель дает высокую прочность и пластичность, коррозионную стойкость; вольфрам увеличивает твердость и красностойкость; ванадий повышает плотность, прочность, сопротивление удару, истиранию; кобальт повышает жаропрочность, магнитопроницаемость; молибден увеличивает красностойкость, прочность, сопротивление окислению при высоких температурах; марганец при содержании свыше 1% увеличивает твердость, износоустойчивость, стойкость против ударных нагрузок; титан повышает прочность, сопротивление коррозии; алюминий повышает окалиностойкость; ниобий повышает кислотостойкость; медь уменьшает коррозию. В сталь вводят также бор, селен, азот, цирконий. В легированной стали может находиться одновременно несколько легирующих элементов. По назначению легирования сталь делится на три

группы: конструкционная, инструментальная и сталь с особыми физическими и химическими свойствами. По содержанию легирующих элементов легированная сталь делится на низколегированную — не более 3% легирующих элементов; среднелегированную — 3—10%; высоколегированную — свыше 10%. В маркировке легированной стали приняты следующие буквенные обозначения легирующих элементов: Х — хром, Н — никель, А — азот, В — вольфрам, Е — селен, Г — марганец, Д — медь, Б — ниобий, Р — бор, П — фосфор, Ю — алюминий, М — молибден, К — кобальт, Ц — цирконий, Ф — ванадий. Эти буквы в сочетании с цифрами образуют марку стали.

В ГОСТе устанавливаются буквы, характеризующие целую группу сталей: Р — быстрорежущие, Ш — шарикоподшипниковые, Е и Э — магнитные. Сочетание букв и цифр дает характеристику легированной стали. Если впереди марки стоят две цифры, они указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Одна цифра в начале марки означает среднее содержание углерода в десятых долях процента. Если в начале марки нет цифры, то количество углерода составляет 1% и выше. Цифры, следующие за буквами, показывают среднее содержание данного элемента в процентах. Если за буквой отсутствует цифра, то содержание данного элемента около 1%. Буква А в конце марки обозначает высококачественную сталь, содержащую меньше серы и фосфора. Например, 12Х2Н4А — это легированная сталь, высококачественная, с содержанием углерода 0,12%, хрома 2%, никеля 4%; сталь Г13 — легированная сталь с содержанием углерода 1% и более, марганца 13%. Для групп сталей, обозначенных одной буквой Р, Ш, Е, Э, правила маркировки не подходят. О них будет рассказано ниже.

Конструкционная легированная сталь согласно ГОСТ 4543—71 делится на три группы: качественная, высококачественная и особо высококачественная. Высококачественная обозначается буквой А в конце марки, а особо высококачественная — буквой Ш через черточку. Например, 12ХН3А — высококачественная, а 30ГС-Ш — особо высококачественная. В качественной стали допускается содержание серы до 0,025%, а в высококачественной — до 0,015%.

Область применения конструкционной легированной стали очень велика. Наибольшее распространение получили следующие стали.

Хромистые, обладающие хорошей твердостью, прочностью, сравнительно недорогие. К ним относятся стали марок 15Х, 20Х, 30Х, 45Х, боросодержащие 40ХР, с цирконием 40ХЦ.

Марганцевые, например 15Г, 20Г, 40Г, 45Г2, отличающиеся изнosoустойчивостью. Особенно изнosoустойчива сталь марки Г13, которую применяют для гусениц тракторов, железнодорожных стрелок.

Кремнистые и хромокремнистые (33ХС, 55ХС), обладающие высокой твердостью и упругостью; применяются для пружин, рессор.

Хромованадиевые (45ХФ, 40ХФА) особо прочные, плотные, хорошо противостоящие истиранию, применяемые для автомобильных деталей, осей, валов.

Хромомолибденовые (20ХМА, 30ХМА) очень прочные, хорошо сваривающиеся, штампуемые, используемые для осей, роторов.

Хромомарганцевокремнистые стали — хромансиль (25ХГСА, 30ХГСА), которые заменяют хромомолибденовую сталь и значительно дешевле ее.

Хромоникелевые (12Х2Н4А, 20ХН3А), очень прочные и пластичные; применяются для изготовления коленчатых валов, поршней, деталей турбин.

Хромоникелевольфрамовые, хромоникелеванадиевые и другие стали марок 40ХН2МА, 13Х3НФА, 45ХН2МФА; применяют для высоконагруженных деталей машин: зубчатых колес, шатунов, деталей турбин и т. д.

Низколегированная сталь применяется в строительстве гражданских и промышленных сооружений, в моторостроении, судостроении. Она прочнее углеродистой, хорошо сваривается, лучше противостоит действию ударных нагрузок. Применение этой стали уменьшает массу конструкций на 15—30%. ГОСТ 19281—73 установлены марки низколегированной стали: 14Г2, 10Г2С2, 16Г2АФД, 09Г2С и др. Специальными примесями являются марганец, кремний, азот и медь.

Инструментальная легированная сталь применяется для изготовления режущего, измерительного и ударно-штампового инструмента. Она тверже и прочнее угле-

родистой стали, хорошо противостоит ударным нагрузкам, при введении определенных легирующих элементов становится красностойкой. Важнейшими элементами инструментальной легированной стали являются хром, вольфрам, молибден, марганец.

Из этой стали изготавливают (ГОСТ 5950—73):

измерительный инструмент — резьбовые калибры, скобы (7ХФ, 9ХФ, Х14, 11ХФ, содержание углерода в стали 11ХФ — 1,1%);

режущий и измерительный инструмент — фрезы, сверла, метчики, развертки, лекала (9ХС, ХГС, 9Х5ВФ, 85Х6НФТ);

штампы горячей штамповки, пресс-формы, формы для литья под давлением (7ХЗ, 5ХНМ, 55ХГСМ, 4Х8В2);

штампы холодной штамповки (Х6НФ, Х12ВМ, Х12Ф1, 7Х12ВМ).

Важнейшей инструментальной легированной сталью является быстрорежущая. Применяется для изготовления фрез, сверл, метчиков, при обработке более твердых металлов, жаропрочных и нержавеющей сталей. Важнейшие свойства этой стали — твердость и красностойкость (не теряет твердости до 600° С). Легирующими элементами служат вольфрам (в количестве не менее 6%), хром (не менее 4%). Кроме того, вводятся кобальт, ванадий, молибден. Содержание углерода 0,7—1,1%.

ГОСТ 19265—73 установлены следующие марки быстрорежущей стали: Р9, Р18, Р6М3, Р6М5, Р14Ф14, Р10К5Ф5 и т. д. Буква Р обозначает быстрорежущую сталь; число, стоящее за буквой Р, показывает содержание вольфрама в процентах, а числа за буквами М, К, Ф — содержание молибдена, кобальта и ванадия в процентах. Содержание углерода 0,7—1,0%.

Сталь и сплавы с особыми физическими и химическими свойствами имеют очень важное значение в энергетической, авиационной, ракетной технике, турбинной, химической и других отраслях промышленности. К стали с особыми физическими свойствами относятся: магнитная, немагнитная, сталь, обладающая высоким электрическим сопротивлением, сталь с особыми тепловыми свойствами.

Магнитные стали широко применяются в электротехнике. Они делятся на магнитотвердые и магнито-

мягкие. Магнитотвердые служат, главным образом, для изготовления постоянных магнитов; их марки: ЕХ2, ЕХ5К5, ЕХ9К15М. Буква Е характеризует магнитную сталь (электротехническую). В этой стали содержатся хром, кобальт, молибден. Магнитомягкие стали применяют для изготовления сердечников трансформаторов, роторов, статоров, электроизмерительных приборов; обозначаются буквой Э (Э1, Э11, Э21, Э41 и т. д.). Они характеризуются высоким процентом содержания кремния. Кроме магнитных сталей применяются магнитные сплавы на алюминировоникелькобальтовой и железоникельалюминиевой основе.

Немагнитные стали и сплавы, например 55Н9Г9 и Н25, заменяют дорогие цветные металлы; применяются в приборах, где магнитные материалы могут повлиять на точность показаний.

Стали и сплавы с высоким электрическим (омическим) сопротивлением используются в нагревательных приборах, при изготовлении реостатов. Марки стали: Х13Ю4, 0Х23Ю5А, 0Х23Ю7А (содержание углерода 0,05—0,15%). Сплавы состоят из никеля и хрома (например, Х20Н80, Х15Н80Т5).

Сталь и сплавы с особыми тепловыми свойствами отличаются особо низким коэффициентом теплового расширения. К ним относятся сталь 18ХМТФ и сплавы инвар Н36 (содержание никеля 36%, остальное железо), элинвар Н36Х8, ковар Н29К18, платинит Н48 (последний заменяет платину). Указанные сплавы применяются для часовых пружин, камертонов, физических приборов).

Стали и сплавы с особыми химическими свойствами — высоколегированные коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные.

Коррозионностойкие (нержавеющие) стали обладают стойкостью против коррозии в атмосфере, почве, в кислотах и щелочах. Жаростойкие стали и сплавы противостоят химическому разрушению в газовых средах при температуре выше 550° С при работе изделий в ненагруженном или слабонагруженном состоянии. Жаропрочные стали и сплавы работают в нагруженном состоянии и обладают жаростойкостью.

Коррозионностойкие — высокохромистые стали, легированные никелем, титаном, ниобием и другими элементами. Коррозионностойкие, или нержавеющие,

стали в менее агрессивных средах (в атмосфере, слабых кислотах, воде) применяются для лопаток водяных и паровых турбин, хирургического инструмента, клапанов, гидравлических прессов, шарикоподшипников, предметов домашнего обихода. Согласно ГОСТ 5623—73 для них установлены марки: 15Х5, 15Х5М, 15Х5ВФ, 10Х13, 20Х13, 30Х13, 40Х13, 15Х28. К нержавеющей в агрессивных средах относятся хромоникелевые стали. Области их применения: химическое машиностроение, изготовление кислотоупорных конструкций, аппаратуры, работающей с фосфорной, уксусной, муравьиной, азотной кислотами, и конструкционных деталей в авиации. Марки этой стали: 12Х18Н9Т, 03Х18НЮ, 03Х17Н14М2, 10Х18Н11Б, 17Х18Н9Т, 03Х16Н15М3Б.

Жаропрочные и жаростойкие стали и сплавы применяются для деталей и механизмов в условиях действия высоких температур, газов и нагрузок. Важнейшие легирующие элементы в этой стали: хром, никель, алюминий, кремний, титан. Из этой стали изготавливают лопатки газовых турбин, детали реактивных двигателей, камеры сгорания, детали газопроводных систем, реактивной техники и т. д. Марки этих сталей, например: 1Х14Н18В2Б, 03Х18Н12Т, 12Х25Н16Г7АР, 08Х14Н28В3Т3ЮР. Марки сплавов: ХН70ВМТЮ, ХН75МБЮ.

ГЛАВА 4

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

19. СВЕДЕНИЯ О ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Процессы, связанные с нагревом и охлаждением железоуглеродистого сплава, в результате которых изменяются его внутреннее строение и свойства, называют термической обработкой. Основоположником теории и рациональных методов термической обработки стали является русский ученый Д. К. Чернов (1838—1921 гг.). Процесс термической обработки складывается

из нагрева до определенной температуры, выдержки при этой температуре и охлаждения с заданной скоростью.

Термической обработке подвергают как заготовки (кованные, штампованные, литые и др.), так и детали машин и инструмент. Заготовки обычно подвергают термообработке для улучшения структуры — снижения твердости, а обрабатываемые детали — для придания им требуемых свойств: твердости, прочности, износостойкости, упругости и др. Возможность значительного улучшения механических свойств после термической обработки деталей машин и изделий позволяет увеличить допускаемые напряжения, уменьшить массу деталей и механизмов, повысить их надежность и долговечность.

Улучшение и получение новых свойств в результате термообработки дает возможность использовать сплавы более простых составов, в связи с чем расширяется область применения многих сплавов. Поэтому термическая обработка в современной технике является одним из важнейших технологических процессов и применяется во всех отраслях промышленности, занятых обработкой металлических сплавов.

В практике применяют четыре вида термической обработки: отжиг, нормализацию, закалку и отпуск. Они отличаются друг от друга температурой нагрева, длительностью выдержки при этой температуре и скоростью охлаждения по окончании выдержки. В результате их осуществления сплавы получают разные свойства.

Для термической обработки применяют специальное оборудование: нагревательные печи, закалочные устройства, приборы для контроля тепловых режимов, очистные устройства, закалочные баки и др.

Термические печи бывают самых разнообразных конструкций. Их устройство, форма и размеры зависят от многих условий: способа передачи тепла от печи к нагреваемым деталям; способов загрузки печи; источников тепла; назначения печи; характера работы печи и т. д. В зависимости от способа передачи тепла нагреваемым деталям печи делятся на камерные, муфельные и ванны. В камерных печах нагрев деталей производится непосредственно пламенем сжигаемого

топлива. В муфельных печах детали не соприкасаются ни с пламенем, ни с горячими газами. Здесь горячие газы и пламя нагревают муфель, а детали получают тепло от стенок муфеля. Муфельные печи применяют в тех случаях, когда нельзя допускать соприкосновения нагреваемых деталей с печными газами — при светлом отжиге, газовой цементации и т. д.

Печи-ванны отличаются тем, что нагреваемые детали погружают в расплавленную соль, расплавленный свинец или горячее масло, находящиеся в тигле. Эти печи применяются для быстрого нагревания мелких деталей.

Нагрев печей производят электрическим током (электропечи), газом и жидким топливом. Электропечи обеспечивают точность регулирования температуры в пределах $\pm 3^\circ \text{C}$. По назначению термические печи подразделяют на печи для отжига, нормализации, закалки, отпуска, азотирования, цианирования.

Для нагрева под закалку в непосредственной близости от печей, располагают закалочные устройства: закалочные баки, наполненные охлаждающей жидкостью (водой, маслом), закалочные прессы или закалочные машины. Для очистки деталей применяют травильные баки, баки для промывки водой и нейтрализации, специальные травильные машины. Механическая очистка деталей производится на дробеструйных аппаратах.

Измерение температур при термической обработке производят специальными приборами — пирометрами. Наибольшее распространение получили термоэлектрические и оптические пирометры. Термоэлектрический пирометр представляет собой термопару с гальванометром, на котором имеется температурная шкала. Температуру раскаленного металла можно определять оптическим пирометром путем сравнения яркости его свечения с накалом нити электрической лампочки, вмонтированной в прибор.

Помимо перечисленных в практике термической обработки используют приближенные методы, дающие только ориентировочные значения температуры металла. К ним относятся: определение температуры по цветам каления при нагреве под закалку или отжиг, а при отпуске — по цветам побежалости, появляющимся на светлой поверхности деталей.

На современных машиностроительных заводах крупносерийного и массового производства для термической обработки широко используют механизированные агрегаты, в которых осуществляется весь цикл термообработки: нагрев, охлаждение, промывка. Агрегат включает в себя также транспортные устройства, передающие детали или полуфабрикаты с одного оборудования на другое.

20. ОТЖИГ И НОРМАЛИЗАЦИЯ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Нагрев стали при термической обработке в большинстве случаев имеет целью перевод ее структуры в аустенит. Для получения однородного аустенита необходимо нагреть сталь на 30—50° С выше критических

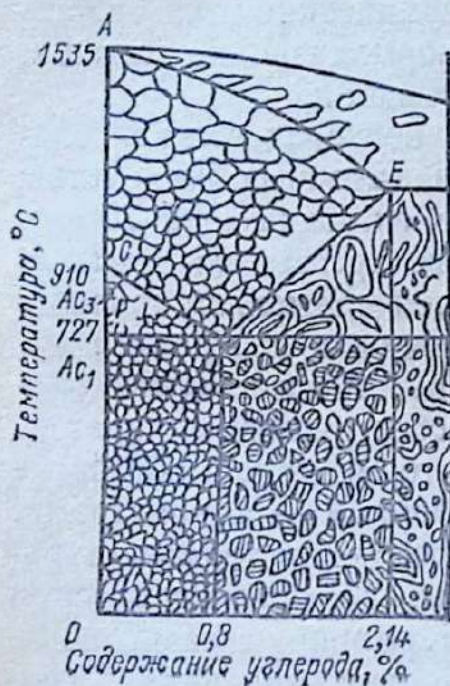


Рис. 17. Схема изменения структуры стали при нагреве

точек (Ac_1 или Ac_3 , рис. 17) и выдержать при этой температуре нужное время. Для легированных сталей для получения однородного аустенита требуется более высокая температура нагрева и большая выдержка при нагреве под закалку.

Отжиг. Отжиг бывает полный, неполный, гомогенизирующий и низкий. Отжиг стальных изделий или заготовок применяют для снятия внутренних напряжений, устранения структурной неоднородности, улучшения обрабатываемости резанием и подготовки к последующей термической обработке.

Полному отжигу подвергают обычно доэвтектоидные стали, нагревая их выше линии GS на 20—30°C (рис. 18), выдерживая при этой температуре в течение 1/4 продолжительности нагрева и медленно охлаждая вместе с печью до 600—400° С. Углеродистые стали охлаждают со скоростью 100—150° С в час, легированные — со скоростью 30—50° С в час. Отжиг сопровождается фазовой перекристаллизацией, в результате чего крупно-

зернистая сталь получает мелкозернистую структуру, освобождается от внутренних напряжений, становится мягкой и вязкой.

Неполный отжиг является разновидностью отжига неполной перекристаллизации. При неполном отжиге сталь нагревается до температуры, на $30-40^{\circ}\text{C}$ превышающей нижнюю критическую точку A_{c1} (рис. 18),

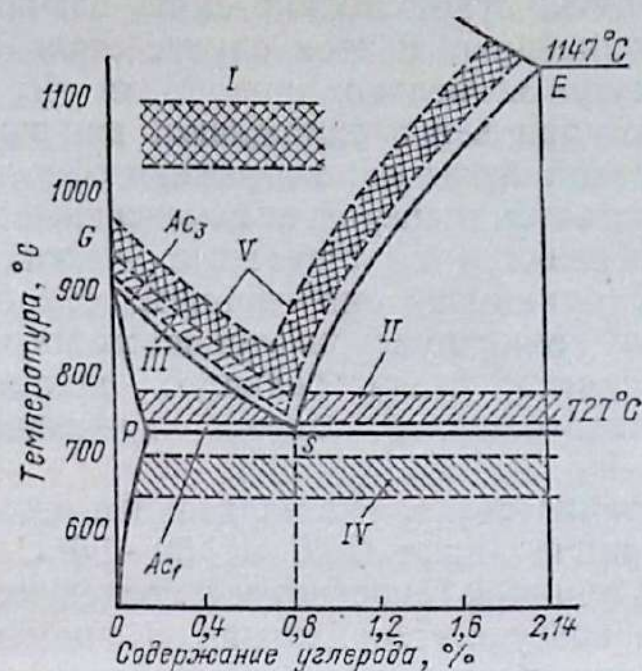


Рис. 18. Области температур нагрева стали при различных видах отжига и при нормализации:

I — полный отжиг; II — неполный отжиг;
 III — гомогенизация (диффузионный отжиг);
 IV — низкий отжиг; V — нормализация стали

т. е. до температуры порядка $750-760^{\circ}\text{C}$. Для инструментальных сталей, особенно заэвтектоидных, неполный отжиг является единственным видом отжига. Он способствует снятию внутренних напряжений и улучшению обрабатываемости резанием.

Гомогенизация (диффузионный отжиг) применяется для слитков и крупных отливок с целью выравнивания (путем диффузии) химического состава стали, имеющей внутрикристаллическую ликвацию. Сталь нагревают до $1000-1100^{\circ}\text{C}$, выдерживают при этой температуре 10—15 ч и затем медленно охлаждают до $600-550^{\circ}\text{C}$. Диффузионный отжиг приводит к росту зерна стали; этот дефект устраняется повторным отжигом

на мелкое зерно (полный отжиг). Сталь, прошедшая гомогенизацию, обладает более высокими механическими свойствами; особенно повышается ударная вязкость.

Низкий отжиг выполняют в тех случаях, когда полученная в результате литья или другой обработки структура стали удовлетворительна и нет необходимости ее изменять, нужно только снять возникшие внутренние напряжения. В этом случае сталь нагревают до температуры несколько ниже точки A_{c1} (рис. 18), выдерживают при ней и охлаждают, как правило, на воздухе. Низкий отжиг часто называют сфероидизацией потому, что при этой температуре цементитные пластинки перлита разбиваются на отдельные участки, каждый из которых принимает округленную, сферообразную форму, получается структура зернистого перлита. Эта структура придает стали большую пластичность в условиях статических и, главное, динамических нагрузок.

Нормализация стали. Нормализацией называют нагрев стали выше линии GSE на $30—50^{\circ}C$ (рис. 18), с выдержкой при этой температуре и последующим охлаждением на воздухе. Нормализацию применяют для устранения внутренних напряжений и наклепа, повышения механических свойств стали. Само слово «нормализация» указывает на то, что сталь после этой операции получает нормальную, однородную, мелкозернистую структуру; перлит приобретает тонкое строение. Нормализации подвергают отливки и поковки. В настоящее время нормализация распространена в машиностроении больше, чем отжиг, так как она является более производительной операцией и дает лучшие результаты.

21. ЗАКАЛКА СТАЛИ

Закалка стали основана на фазовых превращениях при нагреве и охлаждении. Она включает нагрев стали до температур, превышающих температуры фазовых превращений, выдержку при этих температурах и последующее быстрое охлаждение.

Превращения в стали при охлаждении (превращение аустенита). Аустенит устойчив только при температурах выше линии GSE (рис. 18). При охлаждении

стали ниже линии *GS* и *ES* аустенит становится неустойчивым: начинается его распад. Если сталь, нагретую до состояния аустенита, охлаждать с большой скоростью, происходит переохлаждение аустенита и образование новой мелкозернистой феррито-цементитной смеси, причем, чем больше скорость охлаждения, тем все мельче и мельче становится феррито-цементитная смесь. Образующиеся более мелкие по сравнению с перлитом структуры имеют свое особое название. При охлаждении, например, стали на воздухе, аустенит превращается в сорбит, при охлаждении в масле — в троостит (названия даны по именам ученых Сорби и Трооста). Образование сорбита начинается при температуре 600°C и заканчивается при температуре 500°C . Троостит образуется при еще более низких температурах — $500\text{—}200^{\circ}\text{C}$. По своему строению перлит, сорбит и троостит очень сходны. Все они являются механическими смесями феррита и цементита, разница заключается лишь в размерах пластинок феррита и цементита.

При охлаждении в воде аустенит сохраняется в углеродистой стали до температуры примерно 200°C и затем мгновенно превращается в структуру, которую называют мартенситом (название дано в честь ученого Мартенса). В сталях с большим содержанием углерода аустенит не полностью превращается в мартенсит. Сохранившуюся часть аустенита называют остаточным аустенитом.

Мартенсит отличен от сорбита и троостита и по своей структуре, и по свойствам. Он представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе. Мартенсит при рассмотрении под микроскопом имеет характерную игольчатую структуру. Мартенсит — самая твердая и хрупкая структура стали. Его твердость *HV* 600—700 (*HRC* 62—66), а пластические свойства при растяжении (δ и ψ) и ударная вязкость a_K близки к нулю. Мартенсит магнитен и обладает наибольшей способностью сохранять в себе остаточный магнетизм, поэтому магниты при изготовлении закаливают на мартенсит. В легированных сталях рассмотренные структуры могут получаться и при иных скоростях охлаждения. В структуре некоторых легированных сталей даже при охлаждении на воздухе получается мартенсит. В связи с этим, изучая термическую обра-

ботку, следует ознакомиться с термином «критическая скорость закалки», который означает наименьшую скорость охлаждения, при которой в структуре стали получается чистый мартенсит. Таким образом, чем меньше критическая скорость закалки, тем с меньшей скоростью нужно охлаждать сталь, чтобы получить структуру мартенсита.

Закалкой называют процесс нагрева стали на 30—50° С выше критических точек A_{c3} доэвтектоидной стали (рис. 19) и A_{c1} заэвтектоидной стали, выдержки при

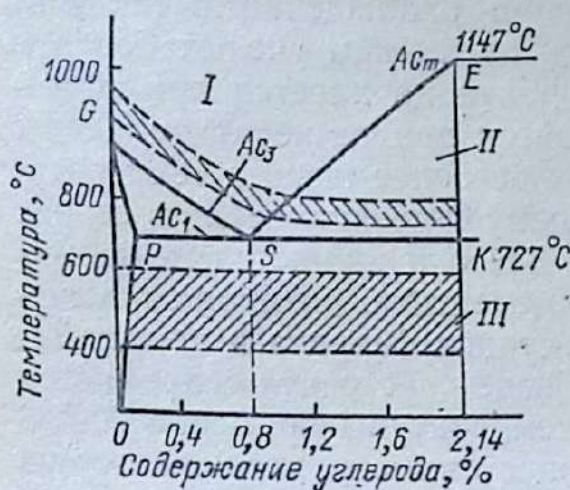


Рис. 19. Температурный интервал закалки и отпуска стали:

I — закалка полная; II — закалка неполная; III — высокий отпуск

данной температуре и последующего быстрого охлаждения. В результате закалки сталь приобретает структуру мартенсита и благодаря этому делается очень твердой. Быстрое охлаждение при закалке достигается путем применения специальных закалочных сред (воды, масла, водных растворов солей и др.). Для закалки простых углеродистых сталей можно рекомендовать воду

с температурой 18° С, а для закалки большинства легированных сталей — масло. В зависимости от скорости охлаждения при закалке можно получить кроме мартенсита структуры: сорбит и троостит. Скорость, обеспечивающую получение мартенситной структуры, называют критической скоростью закалки.

Выбор температуры закалки. Температура нагрева стали перед закалкой зависит в основном от химического состава стали. При закалке доэвтектоидных сталей нагрев следует вести до температуры, лежащей на 30—50° С выше точки A_{c3} (рис. 19). В этом случае сталь имеет структуру однородного аустенита, который при последующем охлаждении со скоростью, превышающей критическую скорость закалки, превращается в мартенсит. Такую закалку называют полной. При нагреве доэвтектоидной стали до температур, лежащих в интер-

вале A_{c1} — A_{c3} , в структуре мартенсита сохраняется некоторое количество оставшегося после закалки феррита, снижающего твердость закаленной стали. Такую закалку называют неполной (рис. 19). Для заэвтектоидной стали наилучшая температура закалки — на 30—50° С выше A_{c1} , т. е. неполная закалка. В этом случае сохранение цементита при нагреве и охлаждении будет способствовать повышению твердости, так как твердость цементита больше твердости мартенсита. Нагрев заэвтектоидной стали до температуры выше линии SE излишен, так как твердость получается меньшей, чем при закалке с температуры выше A_{c1} , за счет растворения цементита и увеличения количества остаточного аустенита. Кроме того, при охлаждении с более высоких температур могут возникнуть большие внутренние напряжения.

Скорость охлаждения. Для получения структуры мартенсита требуется переохладить аустенит путем быстрого охлаждения стали, находящейся при температуре наименьшей устойчивости аустенита, т. е. при 650—550° С. В зоне температур мартенситного превращения, т. е. ниже 300° С, наоборот, выгоднее применять замедленное охлаждение, так как образующиеся структурные напряжения успевают выравниваться, а твердость образовавшегося мартенсита практически не снижается.

Прокаливаемость. Чрезвычайно важной характеристикой является прокаливаемость стали. Она характеризуется глубиной проникновения закалки от охлаждаемой поверхности в тело детали. При сквозной прокаливаемости все сечение закаливаемой детали приобретает однородную структуру и свойства не только непосредственно после закалки, но и после отпуска. При малой прокаливаемости сердцевина детали имеет меньшую прочность, чем закалившиеся слои. Условились закаленными считать слои, в которых содержится не менее 50% мартенсита.

Виды закалки стали. По способу охлаждения различают следующие основные виды закалки: прерывистую, ступенчатую, изотермическую. При прерывистой закалке охлаждение ведут последовательно в двух средах: сначала в воде, затем на воздухе или в масле. Это обеспечивает менее резкое охлаждение. При ступенчатой закалке сначала охлаждают в соляном расплаве,

нагретом на $50-70^{\circ}\text{C}$ выше температуры начала мартенситного превращения, короткое время выдерживают при этой температуре, а затем охлаждают на воздухе. Короткая остановка при охлаждении способствует выравниванию температуры по сечению детали, что уменьшает напряжения, возникающие в процессе закалки.

При изотермической закалке или закалке в горячих средах деталь быстро охлаждают в среде, нагретой на $50-70^{\circ}\text{C}$ выше, чем температура начала мартенситного превращения, и продолжительно выдерживают при этой температуре до полного распада аустенита. Получается не мартенсит, а близкий к нему по твердости, но более вязкий и прочный игольчатый троостит. Дальнейшее охлаждение ведут на воздухе.

22. ОТПУСК И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

Отпуском называется заключительная операция термической обработки, состоящая в нагреве закаленной стали до температуры ниже критической A_{c1} , выдержке при этой температуре и последующем медленном или быстром охлаждении. Цель отпуска — устранение или уменьшение напряжений в стали, повышение вязкости и понижение твердости. Правильное выполнение отпуска в значительной степени определяет качество готовой закаленной детали. Температура отпуска варьируется в очень широких пределах — от 150 до 700°C , в зависимости от его цели. Различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск характеризуется нагревом в интервале $150-250^{\circ}\text{C}$, выдержкой при этой температуре и последующим охлаждением на воздухе, выполняется для снятия внутренних напряжений в закаленной стали с целью повышения вязкости без заметного снижения твердости. Средний отпуск производится при температурах $300-500^{\circ}\text{C}$. Твердость сталей заметно понижается, вязкость увеличивается. Этот отпуск применяют для пружин, рессор, а также инструмента, который должен иметь значительную прочность и упругость при средней твердости. В процессе высокого отпуска (при температуре $500-650^{\circ}\text{C}$) мартенсит распадается с образованием троостита, а затем и сорбита (рис. 19). Эти структуры обеспечивают лучшее сочетание прочности и пластичности стали. Применяется этот вид отпуска

для деталей из конструкционных сталей, подвергающихся действию высоких напряжений, особенно при ударных нагрузках.

Термомеханическая обработка является одним из основных направлений современной технологии машиностроения. Она совмещает механическую деформацию металла в горячем состоянии и термическую обработку. Основная особенность совмещенного процесса состоит в том, что заготовки сразу после окончания горячей обработки давлением (ковки, прокатки) закаливают. Для заковки не производят специального нагрева заготовок, а используют остаточное тепло после горячего деформирования. Необходимо, чтобы температура конца горячей обработки давлением была на $20-30^{\circ}\text{C}$ выше линии A_{c3} (см. рис. 18) для получения мелкого зерна аустенита. Этот способ термической обработки применяют, в первую очередь, в тех случаях, когда заготовки после заковки подвергают высокому отпуску. Преимущества совмещенного процесса обработки заключаются в следующем: экономится топливо для нагрева под заковку и уменьшается потребность в нагревательных печах, сокращается время изготовления деталей и существенно повышаются механические свойства стали. Термомеханическая обработка является прогрессивным процессом, который может коренным образом изменить технологию производства некоторых изделий, например, объединить изготовление рессорных полос и штанг, изготовление стандартных деталей.

23. ДЕФЕКТЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ, ИХ ПРИЧИНЫ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

К основным дефектам, которые могут возникать при термической обработке, относятся: недогрев, перегрев, пережог, окисление, обезуглероживание, коробление, трещины и др.

Недогрев получается в том случае, если сталь была нагрета до температуры ниже критической. Этот дефект исправляют путем отжига, а затем проводят нормальную заковку. *Перегрев* возникает, если сталь была нагрета до температуры намного выше критической или если при нормальной температуре была дана очень большая выдержка. Перегрев при отжиге приводит

к росту зерна, что снижает механические свойства стали. Исправить перегрев, возникший при отжиге, можно повторным нормальным отжигом или нормализацией. Сталь, перегретую при закалке, отжигают и вновь закаливают. *Пережог* получается по причине нагрева стали до температуры, близкой к температуре начала плавления. Сталь становится очень хрупкой. Пережог является неисправимым браком. *Окисление и обезуглероживание* стали при нагреве — это результат взаимодействия ее с газами, содержащимися в атмосфере печей (кислорода, углекислого газа и др.). Резко снижается твердость на поверхности детали и выносливость. Лучший способ предохранения от окисления и обезуглероживания — нагрев в специальных печах с защитной (контролируемой) атмосферой, нейтральной по отношению к стали.

Коробление и трещины — следствие внутренних напряжений. Во время нагрева и охлаждения стали наблюдаются объемные изменения, зависящие от температуры и структурных превращений (переход аустенита в мартенсит сопровождается увеличением объема на 3%). Разновременность структурных превращений по объему закаливаемой детали вследствие различия ее размеров и скоростей охлаждения по сечению ведет к развитию сильных внутренних напряжений, которые служат причиной трещин и коробления деталей в процессе закалки. Трещины являются неисправимым браком, коробление же можно устранить последующей рихтовкой или правкой.

24. ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Термическая обработка легированных сталей по сравнению с обработкой углеродистых имеет ряд технологических особенностей. Эти особенности состоят в различии температур и скорости нагрева, длительности выдержки при этих температурах и способе охлаждения. Теплопроводность легированных сталей меньше теплопроводности углеродистых сталей. Поэтому особенно осторожно следует нагревать детали из стали, содержащей такие элементы, как, например, вольфрам.

Критические температуры у одних легированных сталей выше, а у других — ниже, чем у углеродистой

стали. Все легирующие элементы можно разбить на две группы: элементы, повышающие критические точки A_{c1} и A_{c3} , а следовательно, и температуры нагрева при термической обработке (отжиге, нормализации и закалке), и элементы, понижающие критические точки. К первой группе относятся Cu , V , W , Si , Ti и др. В связи с этим отжиг, нормализация и закалка сталей, содержащих перечисленные элементы, производятся при более высоких температурах, чем отжиг, нормализация и закалка углеродистых сталей. Ко второй группе элементов относятся Mn , Ni и т. п.

Для легированных сталей требуется несколько большее время выдержки, так как они обладают худшей теплопроводностью. Длительная выдержка необходима также для получения лучших механических свойств, поскольку она обеспечивает полное растворение легированных карбидов в аустените.

Скорость охлаждения при термической обработке устанавливают в соответствии с устойчивостью переохлажденного аустенита и значением критической скорости закали. Практически многие легированные стали закаливаются на мартенсит в масле, т. е. при меньшей скорости охлаждения, чем углеродистая сталь. У высоколегированных сталей, если они к тому же содержат большое количество углерода, способность к самозакаливанию выражена очень сильно, у низколегированных и малоуглеродистых сталей — слабее. Это объясняется большой стойкостью аустенитовых зерен против превращения их при температуре A_{c1} в зерна перлита. Легированная сталь обладает большей прокаливаемостью, чем углеродистая. Чем выше степень легированности сталей, тем более глубокой прокаливаемостью они обладают. Из легированных инструментальных сталей особый интерес представляют быстрорежущие стали, широко используемые для изготовления режущего инструмента.

Вольфрам в быстрорежущей стали — основной легирующий элемент. Благодаря его высокому содержанию закаленная сталь не теряет режущей способности при температуре $560-600^{\circ}C$. Вольфрам придает быстрорежущей стали красностойкость.

Ванадий является сильным карбидообразующим элементом и создает прочные карбиды, которые затруд-

няют рост зерна при нагреве под закалку и уменьшают склонность стали к перегреву. Под влиянием ванадия увеличивается красностойкость быстрорежущей стали и повышается эффект вторичной твердости при отпуске.

Углерод в быстрорежущей стали очень важен как элемент, придающий стали способность закаливаться на высокую твердость. Хром в количестве около 4% настолько сильно понижает критическую скорость закалики, что сталь становится «самозакаливающейся», т. е. закаливается на воздухе. При содержании хрома выше нормы резко увеличивается количество остаточного аустенита в структуре закаленной стали.

В быстрорежущей стали содержатся марганец и кремний (не более 0,4% каждого), сера и фосфор (не свыше 0,06% в сумме).

Изделия из быстрорежущей стали до температуры закалики необходимо нагревать ступенчато: вначале медленно до 800—850° С, а затем более быстро до установленной температуры закалики (1230—1300° С). Такой способ нагрева позволяет избежать тепловых напряжений за счет уменьшения разности между температурой поверхности и сердцевины изделия. В качестве охлаждающей среды используют минеральное масло. Применяется также охлаждение на воздухе.

Структура закаленной быстрорежущей стали представляет собой сочетание первичного мартенсита, остаточного аустенита и сложных карбидов. После закалики изделия из быстрорежущей стали обязательно подвергают отпуску. Отпуск таких сталей имеет свои особенности. Как правило, изделия подвергают многократному отпуску (два-три раза) при температуре 560° С для стали Р9 и 580° С для стали Р18 с выдержкой 1 ч. Если после закалики применяют обработку холодом при температуре —80° С, то выполняют только один отпуск. Объясняется это тем, что при указанной отрицательной температуре в быстрорежущих сталях заканчивается бездиффузионное мартенситное превращение — основная часть остаточного аустенита превращается в мартенсит.

Таким образом, после термической обработки структура быстрорежущей стали представляет собой отпущенный мартенсит и карбиды.

25. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СЕРОГО ЧУГУНА

Серый литейный чугун подвергают термической обработке: отжигу, закалке, отпуску, поверхностной закалке, азотированию. Для чугунных отливок чаще других видов термической обработки применяют отжиг.

Отжиг отливок из серого чугуна устраняет внутренние напряжения и отбел. Внутренние напряжения возникают при неравномерном охлаждении отливок и часто приводят к трещинам. Отбел — это образование твердой поверхностной корки, состоящей из цементита, на отливках из серого чугуна при литье в металлические формы. Слой цементита затрудняет обработку режущими инструментами. Отжиг для устранения внутренних напряжений выполняют путем медленного нагревания отливок до $500\text{—}550^{\circ}\text{C}$ и выдержки при этой температуре в течение 2—5 ч с последующим медленным охлаждением вместе с печью до 250°C , а затем на воздухе. Отжиг для устранения отбела производят путем нагрева отливок до $850\text{—}870^{\circ}\text{C}$. Отливки выдерживают при этой температуре в течение 1—5 ч, и охлаждают сначала вместе с печью до 500°C , а затем на воздухе. В результате цементит распадается на железо и углерод, а твердость поверхностного слоя отливок снижается.

26. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БЕЛОГО ЧУГУНА (ПОЛУЧЕНИЕ КОВКОГО ЧУГУНА)

Белый чугун по своей структуре представляет химическое соединение железа с углеродом — цементит (Fe_3C), вследствие чего обладает высокой твердостью, хрупкостью и практически не поддается обработке резанием. Из белого чугуна изготавливают отливки различных заготовок, которые затем, с целью получения высокой прочности и пластичности, подвергают длительному отжигу по специальному режиму. В результате длительного отжига при высоких температурах ($950\text{—}1000^{\circ}\text{C}$) цементитная структура белого чугуна распадается на феррит и графит хлопьевидной формы (углерод отжига) или на перлит и графит. В первом случае чугун будет ферритный, во втором — перлитный ковкий.

Наибольшей пластичностью обладает ферритный ковкий чугун, который широко используется в машиностроении.

Для повышения прочности и износостойкости заготовок (деталей) из ковких чугунов их подвергают нормализации или закалке с отпуском. Нормализация ковкого чугуна выполняется при $850-900^{\circ}\text{C}$ с выдержкой при этой температуре в течение 1—1,5 ч и охлаждением на воздухе. Если после отливки заготовки (детали) имеют повышенную твердость, они подвергаются высокому отпуску при $650-680^{\circ}\text{C}$ с выдержкой 1—2 ч. В ряде случаев детали из ковкого чугуна закалывают с целью получения более высокой твердости и износостойкости за счет снижения пластичности. Температура нагрева под закалку та же, что и при нормализации; охлаждение — в воде и масле, а отпуск — в зависимости от требуемой твердости обычно при температуре $650-680^{\circ}\text{C}$. Нередко детали из ковкого чугуна подвергают закалке токами высокой частоты или кислородно-ацетиленовым пламенем; при этом можно достигнуть высокой твердости поверхностного слоя при достаточной пластичности основной массы.

Ковкий чугун — более дешевый материал по сравнению со сталью; он обладает хорошими механическими свойствами и высокой коррозионной стойкостью. Поэтому детали из ковкого чугуна широко применяются в сельскохозяйственном машиностроении, автотракторной промышленности, станкостроении (для изготовления кронштейнов, тормозных колодок, зубчатых колес) и в других отраслях народного хозяйства.

ГЛАВА 5

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ

Для повышения твердости поверхностных слоев, предела выносливости и сопротивляемости истиранию многие детали машин подвергают поверхностному упрочнению.

Существует три основных метода поверхностного упрочнения: поверхностная закалка, химико-термическая обработка и упрочнение пластическим деформированием.

27. ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА СТАЛИ

Основное назначение поверхностной закалки: повышение твердости, износостойкости и предела выносливости деталей (зубьев шестерен, шеек валов, направляющих станин металлорежущих станков и др.). Сердцевина детали остается вязкой и хорошо воспринимает ударные и другие нагрузки. В промышленности применяют следующие способы поверхностной закалки: закалку с индукционным нагревом токами высокой частоты (т. в. ч.); с электроконтактным нагревом; газо-

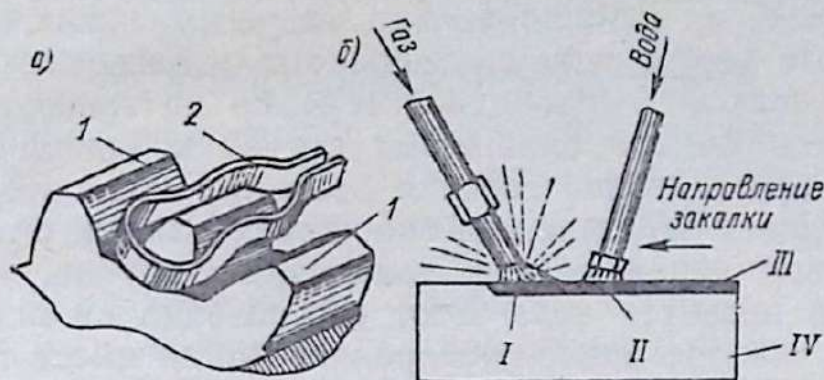


Рис. 20. Способы нагрева при поверхностной закалке стали: а — токами высокой частоты; б — ацетилено-кислородным пламенем;

I — деталь; 2 — индуктор; I — нагрев; II — охлаждение; III — закаленный слой; IV — незакаленная сердцевина

пламенную закалку; закалку в электролите. Общим для всех способов поверхностной закалки является нагрев поверхностного слоя детали до температуры выше критической точки A_{c3} с последующим быстрым охлаждением для получения структуры мартенсита. В настоящее время наибольшее распространение получила поверхностная закалка с индукционным нагревом т. в. ч. Реже, главным образом для крупных деталей, применяют закалку с нагревом газовым пламенем.

Сущность процесса закалки при нагреве токами высокой частоты заключается в том, что на специальной установке производят нагрев детали I (рис. 20, а) с помощью выполненного по форме закаливаемой детали медного индуктора 2, через который пропускают переменный ток высокой частоты. В течение нескольких секунд поверхность детали нагревается на необходимую глубину; затем ток выключают, деталь быстро охлаж-

дают. Индуктор в процессе работы не нагревается благодаря интенсивному охлаждению циркулирующей внутри него водой.

Поверхностная закалка с применением электроконтактного нагрева выполняется следующим образом. Деталь нагревают до температуры закали температуры закали теплом, которое выделяется в месте контакта его с электродом (медным роликом) специального приспособления. Охлаждение закаливаемой поверхности детали производят при помощи душа, который перемещается вслед за подвижным электродом.

Закалка с газопламенным нагревом заключается в том, что поверхность стальной детали нагревают пламенем ацетиленокислородной горелки до температуры закали и быстро охлаждают струей холодной воды (рис. 20, б). Газовая горелка движется над поверхностью детали с определенной скоростью, а за ней с той же скоростью перемещается закалочная трубка, через которую подается вода. Этот способ закали основан на том, что ацетилено-кислородное пламя имеет температуру $2500-3200^{\circ}\text{C}$ и нагревает поверхность изделия до температуры закали за очень короткий промежуток времени, в течение которого нижележащие слои стали не успевают прогреться до критической точки и потому не закаливаются. Толщина закаленного слоя колеблется в пределах 2—4 мм, а его твердость составляет *HRC* 50—56. Газопламенная закалка вызывает меньшие деформации, чем объемная закалка, и не загрязняет поверхность. Для крупных деталей этот способ закали часто более рентабелен, чем закалка с индукционным нагревом (т. в. ч.).

Поверхностную закалку при нагреве в электролите выполняют в 10%-ном растворе поваренной соли, поташа или кальцинированной соды. Детали, подлежащие закали, погружают в ванну, и они являются катодом, а корпус ванны — анодом. При пропускании постоянного электрического тока через электролит вокруг катода (детали) образуется газовая оболочка, которая нарушает электрический контакт катода с электролитом, и деталь интенсивно нагревается до температуры закали. После этого ток выключают; деталь закаливается в электролите, который омывает ее со всех сторон.

Кроме описанных применяют ряд других способов поверхностной закалки, в частности нагрев деталей под закалку в расплавленных металлах или солях. В них закалывают мелкие детали простой геометрической формы, изготавливаемые в небольших количествах.

Отпуск после выполнения поверхностной закалки производят с целью снятия напряжений, возникших в зоне закалки. Это уменьшает хрупкость и повышает прочность деталей. Твердость повышается на 2—3 ед. по сравнению с обычной закалкой; улучшается износостойкость; предел выносливости возрастает в 1,5—2 раза.

28. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Химико-термической обработкой называют процесс, заключающийся в сочетании термического и химического воздействия для изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя стали.

Химико-термическая обработка основана на диффузии (проникновении) в атомно-кристаллическую решетку железа атомов различных химических элементов при нагреве стальных деталей в среде, богатой этими элементами.

Наибольшее распространение получили следующие виды химико-термической обработки.

Цементация — процесс, состоящий в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали углеродом до оптимальной концентрации 0,8—1,1% и получении после закалки высокой твердости поверхности ($HV\ 700—800$) при сохранении вязкой сердцевины. Цементации подвергаются детали, изготовленные из низкоуглеродистых сталей (0,1—0,25 С) или из легированных низкоуглеродистых сталей. При цементации используют естественные и искусственные газы или жидкий карбюризатор (бензол, пиробензол, керосин и др.), который подается непосредственно в рабочее пространство печи. При нагреве происходит разложение метана по реакции $CH_4 = C + 2H_2$. Атомарный углерод поглощается поверхностью стали и проникает в глубину детали. Газовая цементация деталей производится при температуре 930—950° С.

Азотирование заключается в диффузионном насыщении поверхностного слоя азотом. Азотирование повы-

шает твердость поверхностного слоя, его износостойкость, предел выносливости и сопротивление коррозии в среде атмосферного воздуха, воды, пара и т. д. Азотирование проводят обычно при $500\text{--}600^\circ\text{C}$ (для повышения износостойкости и прочности) или при $600\text{--}800^\circ\text{C}$ (для повышения коррозионной стойкости) в среде аммиака, который при указанных температурах диссоциирует с образованием атомарного азота по реакции $2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N} + 6\text{H}$. Атомарный азот диффундирует в железо. В сталях, легированных алюминием, хромом и молибденом, твердость азотированного слоя достигает $HV\ 1200$. Обычно при азотировании получают слой толщиной $0,2\text{--}0,6\text{ мм}$.

Нитроцементация и цианирование — поверхностное насыщение деталей одновременно углеродом и азотом. Процесс выполняют либо в газовой среде, либо в расплавленной ванне из цианистых солей. В первом случае процесс называют *нитроцементацией*, во втором — *цианированием*. Газовая нитроцементация позволяет повысить износостойкость обрабатываемых деталей и сделать процесс более рентабельным. При низких температурах поверхностный слой стали насыщается преимущественно азотом, а при высоких — углеродом. Детали нагревают в газовой смеси, состоящей из науглероживающего газа ($90\text{--}98\%$) и аммиака ($2\text{--}10\%$). Кроме того, применяют специальный жидкий карбюризатор — триэтаноламин $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_3\text{N}$, вводимый в виде капель в рабочее пространство.

Газовое цианирование (нитроцементацию) разделяют на высокотемпературное (при $800\text{--}950^\circ\text{C}$) и низкотемпературное (при $550\text{--}600^\circ\text{C}$). Высокотемпературное цианирование применяют для получения высокой твердости и износостойкости поверхности деталей из конструкционных сталей с получением слоя глубиной $0,2\text{--}1,0\text{ мм}$. После нитроцементации детали закаливают и затем подвергают низкому отпуску. Низкотемпературное цианирование выполняют в течение $5\text{--}10\text{ ч}$ в среде эндогаза или газа, полученного из синтина (смесь углеводородов) с добавлением $12\text{--}20\%$ аммиака, или путем использования триэтанолamina. В результате такой обработки на поверхности стали образуется тонкий карбонитридный слой (толщиной $0,15\text{--}0,20\text{ мм}$), обладающий высокой износостойкостью. Перед низкотемпе-

ратурным цианированием производится полная механическая и термическая обработка деталей.

К числу новых методов химико-термической обработки относят насыщение поверхности стали бором. *Борирование* повышает твердость ($HV\ 2000$), сопротивление абразивному износу и коррозионную стойкость. Борированная сталь теплостойка до 900°C , жаростойка до 800°C , однако борированные слои обладают высокой хрупкостью. При *сульфидировании* производят насыщение поверхности стали серой, азотом и углеродом на глубину $0,2\text{--}0,3\text{ мм}$ для повышения износостойкости, прирабатываемости деталей при трении и устойчивости их против задиrow.

Диффузионная металлизация — процесс насыщения поверхности стали алюминием (алитирование), хромом (хромирование), кремнием (силицирование). Металлизация кремнием повышает кислотоупорность, хромом или алюминием — жаростойкость, хромом, азотом и углеродом — износостойкость и т. д. Металлы образуют с железом твердые растворы замещения, поэтому диффузия их осуществляется значительно труднее, чем диффузия углерода или азота. В связи с этим процессы диффузионной металлизации выполняют при высоких температурах: алитирование — при $900\text{--}1000^{\circ}\text{C}$, силицирование — при $950\text{--}1050^{\circ}\text{C}$.

Применение диффузионной металлизации во многих случаях не только вполне оправдано, но и является экономически выгодным. Так, детали жаростойкие при температуре до $1000\text{--}1100^{\circ}\text{C}$, изготовляют из простых углеродистых сталей, а с поверхности насыщают алюминием, хромом или кремнием, что значительно выгоднее, чем применение специальных легированных жаростойких сталей.

29. ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Поверхностное упрочнение методом пластического деформирования — прогрессивный технологический процесс, приводящий к изменению свойств поверхности металлического изделия. При этом методе пластически деформируют только поверхность. Деформирование осуществляют либо обкаткой роликами, либо обдувкой дробью.

Чаще применяют обдвку дробью, при которой поверхность подвергается ударам быстролетящих круглых дробинok размером 0,2—1,5 мм, изготовленных из стали или белого чугуна. Обработку выполняют в специальных дробеметах. Удары дробинok приводят к пластической деформации и наклепу в микрообъемах поверхностного слоя. В результате дробеструйной обработки образуется наклепанный слой глубиной 0,2—0,4 мм. Кроме того, за счет увеличения объема наклепанного слоя на поверхности изделия появляются остаточные напряжения сжатия, что сильно повышает усталостную прочность. Например, срок службы витых пружин автомобиля, работающих в условиях, вызывающих усталость, повышается в 50—60 раз, коленчатых валов — в 25—30 раз.

Дробеструйная обработка, так же как и обкатка роликами, является конечной технологической операцией, перед которой изделия проходят механическую и термическую обработку.

ГЛАВА 6

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И ИХ СПЛАВЫ

К цветным относят все металлы, кроме железа, хрома, марганца и сплавов на основе железа. Важнейшие из цветных металлов: медь, алюминий, магний, цинк, никель, свинец, олово и титан. В машиностроении цветные металлы применяются главным образом в виде сплавов, так как чистые металлы обладают малой прочностью.

30. МЕДЬ И ЕЕ СПЛАВЫ

Медь. Медь получают из руд, содержащих 1—6% меди. Полученный обогащением концентрат из медных руд подвергают сначала обжигу для снижения содержания серы, а затем плавке в отражательных печах на медный штейн. Последующей переплавкой штейна в медеплавильном конверторе получают черновую медь, содержащую 98,4—99,4% меди. Черновую медь рафинируют для удаления вредных примесей, после чего

содержание меди возрастает до 99,5—99,95% (технически чистая медь).

Чистая медь — металл розовато-красного цвета. Ее кристаллическая решетка — кубическая гранецентрированная. Плотность меди 8,93 г/см³, температура плавления 1083° С. Средние значения механических свойств технической меди в отожженном состоянии: $\sigma_{\text{в}} = 250$ МПа, $\delta = 45\%$; твердость *HV* 60.

Так как медь имеет наименьшее (после серебра) удельное электросопротивление, она широко применяется в электротехнике в качестве проводников электрического тока. Медь обладает хорошей теплопроводностью и коррозионной стойкостью во влажной атмосфере и воде. Чистая медь отличается высокой пластичностью и хорошо обрабатывается давлением в холодном и горячем состоянии.

Согласно ГОСТ 859—66 для меди установлено девять марок: от М00 с содержанием 99,99% меди до М4 с содержанием 99,00% меди. Сплавы меди имеют более высокую прочность, лучшую обрабатываемость и лучшие литейные свойства, чем чистая медь. Технические медные сплавы делятся на две группы: латуни и бронзы.

Латуни. Латунями называют сплавы меди с цинком, содержащие от 4 до 45% цинка. Максимальную пластичность имеет латунь, содержащая около 32% цинка ($\delta = 55\%$), а максимальную прочность — латунь, содержащая около 45% цинка ($\sigma_{\text{в}} = 350$ МПа). Латуни, содержащие никель, свинец, олово, кремний и др. (обычно от 2 до 8%), называются специальными. Они имеют повышенную коррозионную стойкость, лучшие технологические и механические свойства. Латуни принято разделять на литейные и обрабатываемые давлением.

Для маркировки латуней приняты следующие обозначения: буква Л указывает название сплава (латунь), следующие за ней цифры обозначают содержание меди в сплаве; например, маркой Л63 обозначена латунь, содержащая 63% меди. У специальных латуней принято следующее обозначение легирующих элементов: А — алюминий, Мц — марганец, К — кремний, С — свинец, О — олово, Н — никель. Первые две цифры, стоящие за буквенными обозначениями, указывают сред-

нее содержание меди в процентах, последующие цифры — содержание других элементов; остальное (до 100%) составляет цинк. Например, марка ЛМцЖ52-4-1 обозначает марганцевожелезистую латунь, содержащую около 52% меди, 4% марганца и 1% железа; остальное — цинк.

Латуни хорошо обрабатываются в холодном и горячем состоянии. Для снятия внутренних напряжений латунные изделия, полученные холодной обработкой давлением, необходимо подвергнуть отжигу при температуре 400° С.

Литейные латуни ГОСТ 17711—72 применяют для изготовления втулок подшипников (например, латунь ЛАЖ60-1-1Л) литой арматуры, деталей судовой арматуры, подвергающейся действию морской воды, коррозионностойких деталей общего машиностроения (например, ЛК80-3Л; ЛА67-2,5 и др.). Из латуней, обрабатываемых давлением (ГОСТ 15527—70), получают радиаторные и гофрированные трубки (Л96, Л80), полосы, ленты, листы, трубы, проволоку (Л63—Л68) и другие изделия.

Бронзы. Бронзами называются сплавы меди с оловом, алюминием, никелем и другими элементами. В зависимости от состава бронзы делятся на оловянные и безоловянные, а по технологическому принципу — на деформируемые и литейные. Маркировка бронз основана на том же принципе, что и маркировка латуней. Буквы Бр означают бронзу, далее следуют буквенные обозначения элементов, входящих в состав сплава, и за ними цифры, указывающие среднее содержание элементов в процентах. Например, БрОФ6,5-0,15 — марка оловяннофосфористой бронзы, содержащей 6—7% олова и около 0,15% фосфора; остальное — медь.

Основным легирующим элементом оловянных бронз является олово. Они обладают высокими механическими ($\sigma_{\text{в}} = 150—350$ МПа; $\delta = 3÷15\%$; твердость *НВ* 60—90), антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью; хорошо отливаются и обрабатываются резанием. Для улучшения качества в оловянные бронзы вводятся: свинец, повышающий антифрикционные свойства и обрабатываемость, цинк, улучшающий литейные свойства, фосфор, повышающий литейные, механические и антифрикционные свойства.

Из деформируемых оловянных бронз (например, БрОФ6,5-0,15; ГОСТ 5017—74) изготавливают листы, проволоки, ленты, прутки, трубы главным образом штамповкой и прессованием. Литейные оловянные бронзы применяются для изготовления деталей машин, работающих в среде пара с давлением до 2,5 МПа (БрОЦС3-12-5; БрОЦСН3-7-5-1), а также для изготовления антифрикционных деталей, втулок, вкладышей подшипников (БрОЦС4-4-17; БрОЦС3,5-7-5).

Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением (ГОСТ 18175—72), применяются для изготовления прутков, лент, полос, проволоки (БрА5; БрА7; БрАМц9-2; БрАЖ9-4; БрКМц3-1), поковок, труб (БрАЖМц10-3-1,5; БрАЖН10-4-4; БрМц5). К литейным бронзам (ГОСТ 493—54) относятся, например, БрАМц10-2; БрАЖ9-4Л; БрАЖН10-4-4Л). Из этих бронз получают фасонные отливки различной конфигурации, размеров и массы. Механические свойства безоловянных бронз: $\sigma_{\text{в}} \leq 700$ МПа; $\delta \leq 20\%$; твердость *НВ* 80—250.

Марганцовистые бронзы имеют сравнительно невысокие механические свойства, но обладают хорошей сопротивляемостью коррозии и высокой пластичностью, а также сохраняют механические свойства при повышенных температурах (БрМц5, например, при температурах до 400—450° С). Алюминиевые бронзы превосходят оловянные по механическим свойствам, сопротивлению коррозии, но имеют более низкие литейные свойства.

Свинцовистые бронзы (БрС30; БрОС5-2,5; БрОС8-12) отличаются высокими антикоррозионными свойствами и теплопроводностью (в четыре раза большей, чем оловянистые бронзы). Применяются для высоконагруженных подшипников с большими удельными давлениями (например, БрС30 для коренных подшипников турбин и других быстроходных машин).

Бериллиевые бронзы (БрБ2; БрБНТ1-7; БрБНТ1-9 и т. д.) после термообработки имеют высокие механические свойства. Например, у БрБ2 $\sigma_{\text{в}} = 1250$ МПа, *НВ* 350, высокий предел упругости, хорошая коррозионная стойкость, теплостойкость. Эта бронза не дает искры при ударе. Из бериллиевых бронз изготавливают детали особо ответственного назначения.

Как заменители дорогостоящих оловянных и бериллиевых бронз применяются кремниевые бронзы, например БрКН1-3; БрКМц3-1.

31. АЛЮМИНИЙ, МАГНИЙ, ТИТАН И ИХ СПЛАВЫ

Алюминий. Основной рудой для производства алюминия являются бокситы, содержащие 40—80% глинозема (Al_2O_3), получаемого химической обработкой бокситов. Электролизом раствора глинозема в расплавленном криолите (Na_3AlF_6) получают алюминий-сырец, содержащий примеси и газы. После рафинирования образуется технически чистый алюминий, содержащий 99,5—99,85% Al.

Алюминий — легкий металл серебристо-белого цвета с голубоватым оттенком. Плотность его $2,7 \text{ г/см}^3$, температура плавления $658,7^\circ \text{C}$. В отожженном состоянии алюминий обладает малой прочностью ($\sigma_{\text{в}} = 80 \div 120 \text{ МПа}$) и твердостью $\text{НВ } 25$, но большой пластичностью ($\delta = 35 \div 45\%$). Имеет высокую коррозионную стойкость в пресной воде, атмосфере.

Благодаря высокой электропроводности и пластичности алюминий нашел широкое применение в электропромышленности для изготовления шин, проводов, кабелей. В авиационной промышленности его используют для изготовления труб, маслопроводов и бензопроводов; в легкой и пищевой промышленности — для изготовления фольги, посуды. Алюминий используется также в качестве раскислителя при производстве стали.

Алюминиевые сплавы имеют плотность до 3 г/см^3 , высокие механические свойства. Они делятся на литейные и деформируемые (обрабатываемые давлением). Литейные алюминиевые сплавы (ГОСТ 2685—75) применяются для получения отливок. В зависимости от химического состава и свойств они делятся на пять групп, например АЛ2, АЛ4 и т. д. (цифры обозначают порядковый номер сплава).

Деформируемые алюминиевые сплавы (согласно ГОСТ 4784—74) применяют для получения листов, проволоки, ленты, фасонных профилей и различных деталей ковкой, штамповкой или прессованием. К неупрочняемым термической обработкой относятся сплавы

алюминия с марганцем и алюминия с магнием и марганцем. Они обладают умеренной прочностью, имеют повышенную сопротивляемость коррозии, высокую пластичность, хорошо свариваются. Применяются для изготовления деталей, работающих в коррозионной среде, сварных деталей и деталей, получаемых глубокой штамповкой.

Деформируемые сплавы, упрочняемые термообработкой, имеют небольшую плотность (около 3 г/см³), но высокую прочность ($\sigma_b \geq 700$ МПа); широко применяются в машиностроении и особенно в самолетостроении для изготовления ответственных деталей. Наиболее распространенным сплавом этой группы является дюралюминий, содержащий в качестве основного компонента медь и в качестве дополнительных легирующих элементов магний, марганец, титан и др. Дюралюминий маркируют буквой Д и порядковым номером, например Д1, Д16, Д18. Для защиты от коррозии листовой дюралюминий подвергают лакированию.

В марках таких деформируемых алюминиевых сплавов, как АК4, АК6, цифра обозначает порядковый номер сплава, а буквы — название и назначение его (алюминиевый ковочный). Эти сплавы применяются для изготовления поршней авиационных моторов, лопастей винтов, картеров двигателей и других деталей машин.

Магний. Для производства магния применяют магнезит, содержащий 28,8% Mg, доломит, содержащий 21,7% Mg, и другие магниевые руды. Металлический магний получают главным образом электролизом магния из его расплавленных солей. Образуется черновой магний, содержащий 5% примесей. После рафинирования путем переплавки в электропечи получают технически чистый магний (99,82—99,92% Mg).

Магний — самый легкий из всех применяемых в технике металлов; его плотность 1,74 г/см³, температура плавления 650° С. В литом состоянии предел прочности $\sigma_b = 100 \div 120$ МПа, пластичность $\delta = 3,6\%$. Чистый магний имеет малую устойчивость против коррозии. В промышленности магний используется в виде сплавов с алюминием, марганцем, цинком и другими металлами. Все магниевые сплавы хорошо обрабатываются резанием и имеют сравнительно высокую прочность ($\sigma_b = 200 \div 400$ МПа, $\delta = 6 \div 20\%$).

Литейные магниевые сплавы в соответствии с ГОСТ 2856—68 обозначаются марками МЛ2, МЛ3 и т. д. Буквы МЛ обозначают магниевый литейный сплав, цифры показывают порядковый номер сплава. Для получения мелкозернистой структуры сплавы модифицируют. Сплав МЛ2 применяется для изготовления горловин бензобаков и несложной бензомасляной арматуры. Сплавы МЛ4 и МЛ5 применяют для изготовления корпусов приборов, деталей самолетов, двигателей, корпусов фотоаппаратов.

Деформируемые (обрабатываемые давлением) магниевые сплавы (ГОСТ 14957—69) по химическому составу незначительно отличаются от литейных; обозначаются марками МА2, МА3 и т. д. Обработке давлением подвергаются в нагретом состоянии. Для увеличения прочности термически обрабатываются. Наиболее прочным по сравнению с другими является сплав МА10, после термической обработки его предел прочности $\sigma_b = 360 \div 430$ МПа. Сплав применяется для изготовления кованых и штампованных деталей, несущих повышенные нагрузки.

Благодаря малому удельному весу магниевые сплавы широко применяются в машиностроении. Для защиты от коррозии изделия из магниевых сплавов оксидируют, а затем наносят лакокрасочные покрытия.

Титан. Для производства титана применяют ильменит ($\text{TiO}_2 \cdot \text{FeO}$), рутил (TiO_2) и другие руды, содержащие 10—60% двуокиси титана. После обогащения концентраты титановых руд содержат 42—65% TiO_2 . Из концентрата специальной обработкой получают четыреххлористый титан (TiCl_4). Металлический титан восстанавливается магнием из TiCl_4 , после чего его подвергают рафинированию. Технически чистый титан содержит 99,18—99,65% Ti .

Титан — серебристо-белый металл с температурой плавления 1670°C и плотностью $4,5 \text{ г/см}^3$. Технический титан высокой чистоты содержит не более 0,1% примесей (Fe , Mn , Al , C , Si , Ni).

Для получения сплавов титана с заданными механическими свойствами его легируют алюминием, молибденом, хромом, оловом и другими легирующими элементами. Главное преимущество титана и его сплавов заключается в сочетании высоких механических свойств

($\sigma_b \geq 1500$ МПа; $\delta = 10 \div 15\%$) и коррозионной стойкости с малой плотностью. В качестве конструкционных материалов в машиностроении кроме технического титана применяют деформируемые сплавы (согласно ГОСТ 19807—74), например ВТ4; ВТ6; ВТ14, литейные сплавы, например ВТ5Л; ВТ14Л; ВТ21Л, упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой. По механическим свойствам они подразделяются на сплавы нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные, повышенной пластичности. Сплавы хорошо обрабатываются давлением в холодном и горячем состоянии, хорошо свариваются в инертной среде. Для повышения жаростойкости титановые сплавы подвергаются силицированию и другим видам диффузионной металлизации, для повышения износостойкости — азотированию. Применяются сплавы титана для обшивки сверхзвуковых самолетов, изготовления деталей реактивных авиационных двигателей, корпусов ракетных двигателей, обшивки подводных лодок, торпед. Титан широко применяется в химической промышленности для изделий, работающих в сильно агрессивных средах.

32. ЖАРОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА. ТУГОПЛАВКИЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ. АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Жаропрочные сплавы. Эти сплавы применяются для изготовления деталей, работающих при температурах выше 700°C . По сравнению со сталями они более жаропрочны. Сплав на никелевой основе ХН78Т (нимоник), содержащий кроме хрома (20%) присадки алюминия и титана, используют для изготовления камер сгорания, жаровых труб. Сплав ХН55ВМТКЮ, содержащий 14% кобальта, применяют для изготовления лопаток газовых турбин, работающих при температурах $850—950^\circ\text{C}$. Никелевые сплавы применяют также для изготовления термпар, нагревательных элементов, реостатов и измерительных приборов, деталей ответственного назначения в химическом машиностроении. В металло-керамических твердых сплавах широко используют кобальт.

Тугоплавкие металлы и сплавы. Тугоплавкими называют металлы, температура плавления которых выше

1700° С. Наиболее тугоплавки вольфрам (3410° С), молибден (2620° С), ниобий (2415° С), тантал (2996° С), а также весьма редкие и рассеянные в земной коре рутений, рений, гафний и осмий. Тугоплавкие металлы получают прессованием порошков с последующим их спеканием в брикеты (штабики), а также плавкой заготовок в электродуговых и электронно-лучевых печах. Путем ковки штабиков и последующего волочения через алмазные волокна получают вольфрамовую проволоку диаметром до 15 мкм. Этот диаметр в дальнейшем уменьшают травлением до 5 мкм. Вольфрамовая проволока широко применяется в электронных приборах.

Монокристаллы тугоплавких металлов большой чистоты получают методом зонной плавки. Так, монокристаллы вольфрама массой более 10 кг обладают высокой пластичностью вплоть до гелиевых температур ($-267,8^{\circ}\text{C}$) и могут обрабатываться в холодном состоянии. Тугоплавкие металлы обладают высокой коррозионной стойкостью в среде сильных кислот, расплавленных щелочных металлах и их парах. Например, детали из сплава ниобия с танталом в среде сильных кислот (азотной, серной и др.) работают два-три года, а из нержавеющей стали — два-три месяца.

Во избежание окисления нагрев тугоплавких металлов производится не на воздухе, а в вакууме или в нейтральных газах (аргон, гелий). Детали, работающие при высоких температурах, покрывают жаростойкими покрытиями (Cr, Al, Si) или легируют.

Для изготовления деталей, работающих при температурах до 1400° С, используют молибден, ниобий и их сплавы, при более высоких температурах — вольфрам и тантал, имеющие наибольшую температуру плавления. Сплавы $\text{W} + 20\% \text{Re}$; $\text{W} + 5\% \text{Re}$ обладают большой термоэлектродвижущей силой и применяются для изготовления термопар, измеряющих температуру до 3000° С.

Карбиды вольфрама, ниобия, тантала изнosoустойчивы, имеют твердость близкую к твердости алмаза и высокую температуру плавления (карбиды тантала, например, 3880° С); их применяют для наплавки на поверхность изделий. Сплавы тугоплавких металлов прочнее чистых металлов. Высокая прочность у них

сохраняется как при высоких (до 1200°C), так и при низких (до -196°C) температурах.

Из фольфрама, молибдена и их сплавов изготавливают листы, ленты, прессованные прутки, трубы, проволоку, нити накаливания, детали радиоламп, детали сопел ракетных двигателей (например, для горловинных вставок ракеты «Минитмен», для носовой части ракеты «Полярис»), оболочки тепловыделяющих элементов, детали плазменных и ионных двигателей.

Сплав, содержащий 85% вольфрама и 15% молибдена, пригоден для работы при температурах, близких к 3000°C .

Ниобий и его сплавы имеют то же применение, что и сплавы вольфрама и молибдена. Сплавы ниобия с оловом являются ценными сверхпроводящими материалами.

Антифрикционные сплавы. Они применяются для изготовления вкладышей подшипников скольжения. Они должны иметь небольшую твердость, высокую теплопроводность, хорошую прирабатываемость, небольшой коэффициент трения, микропористость для удержания смазки, высокую коррозионную стойкость в среде масел.

В качестве антифрикционных сплавов применяют антифрикционные чугуны (ГОСТ 1585—70), например АЧС-1; АЧС-2; АЧВ-1, бронзы, баббиты, алюминиевые сплавы, порошковые материалы.

ГОСТ 1209—73 и ГОСТ 1320—74 рекомендуют для заливки вкладышей подшипников применять баббиты оловянные и свинцовые с добавкой меди, сурьмы, кальция, натрия и т. д.: например, Б83; Б83С; Б88; Б16; БКА. Наиболее качественными из этих баббитов являются баббиты на оловянной основе Б88 и Б83. Они имеют хорошую сопротивляемость ударным нагрузкам, минимальный коэффициент трения (со смазкой). Применяются для изготовления ответственных подшипников паровых турбин, мощных электродвигателей, турбокомпрессоров. Низкая температура плавления баббитов ($380-480^{\circ}\text{C}$) облегчает их применение для заливки подшипников.

Из алюминиевых антифрикционных сплавов наибольшее применение имеет сплав АСМ, который заменил бронзу БрС30 в подшипниках коленчатых валов трактора.

ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ И МИНЕРАЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Твердые сплавы изготавливают на основе тугоплавких карбидов, обладающих высокой твердостью, прочностью, износостойкостью, жаростойкостью. Эти свойства сохраняются на достаточно высоком уровне при нагреве сплавов до 800—1000° С.

33. КЛАССИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

По способу производства твердые сплавы делят на литые и металлокерамические, получаемые спеканием порошков карбидов вольфрама, титана и тантала с кобальтом. Литые твердые сплавы получают путем отливки прутков диаметром 5—10 мм и длиной 200—300 мм, пригодных для наплавки (наварки) на инструмент или детали. Отечественная промышленность выпускает металлокерамические твердые сплавы трех групп: однокарбидные — вольфрамовые (ВК), двухкарбидные — титано-вольфрамовые (ТК) и трехкарбидные — титанотантало-вольфрамовые (ТТК).

Литые твердые сплавы. Различают три основных вида наплавочных твердых сплавов: литые, зернообразные и электродные.

Сплавы сормайт и В2К, В3К (стеллиты) изготавливают в виде прутков и порошка. Эти сплавы наплавляют на рабочую поверхность новых или изношенных деталей и инструмента: штампов, ножей для резания металла, центров токарных станков и др. Процесс наплавки осуществляют при помощи ацетилено-кислородного пламени или электрической дуги. Детали или инструмент, предназначенные для наплавки, изготавливают из углеродистой стали, этим достигается экономия дорогостоящих легированных сталей. Наплавлять указанные сплавы можно как на стальные, так и на чугунные детали. Стойкость деталей и инструмента, покрытых литыми твердыми сплавами, повышается в 12 раз и более. Зернообразный твердый сплав сталинит применяется в качестве заменителя стеллитов для повышения износостойкости деталей экскаваторов, буровых долот и т. д.

Наплавку производят электрической дугой по методу Бенардоса угольным или графитовым электродом. Электродные твердые сплавы применяют аналогично зерновым. Их используют в виде электродов диаметром 3—5 мм, обмазанных специальным составом, состоящим из графита, ферросплава, карбида бора и др.

34. МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

Металлокерамическими эти сплавы называются потому, что состоят из металлов, а метод их изготовления напоминает технологию получения керамических (глиняных, фарфоровых и огнеупорных) изделий. Основная масса изделий из твердых сплавов выпускается в виде пластинок для оснащения рабочей части металлорежущего инструмента (резцов, сверл, фрез, разверток) путем напайки или механического крепления к державкам.

Вольфрамовые твердые сплавы (например, ВК3, ВК3М, ВК6, ВК8, ВК8В) применяют при обработке хрупких материалов: чугуна, бронзы, фарфора, стекла. Сплавом ВК6М оснащают режущий инструмент для чистовой и получистовой обработки отбеленных чугунов, жаропрочных сталей, пластмасс. Сплавом ВК8В оснащают инструмент для бурения, волочения, черного точения жаропрочных и нержавеющей сталей. Буква В в конце марки указывает, что сплав крупнозернистый, буква М — мелкозернистый.

Титановольфрамовые твердые сплавы (Т5К10, Т15К6, Т30К4 и др.) предназначены для обработки вязких материалов: стали, латуни. Сплавом Т5К10, например, оснащают режущий инструмент для черного точения, а также черного и чистового строгания сталей (включая стальные поковки, штампованные заготовки и отливки) по корке и окалине.

Сплавы ТТ7К12 и ТТ10К8Б используют для тяжелой черновой обработки стальных поковок. Эти сплавы имеют более высокую прочность ($\sigma_b = 1550$ МПа), чем сплавы ТК.

Мелкозернистые и крупнозернистые высококобальтовые сплавы ВК20, ВК25, ВК30 и новые сплавы ВК15В, ВК20В и ВК25В, обладающие высокой прочностью и ударной вязкостью, применяют для изготовле-

ния твердосплавных штампов, работающих в условиях больших ударных нагрузок. Стойкость твердосплавных штампов по сравнению со стальными возрастает в 30—50 раз, чем достигается большой экономический эффект.

35. МИНЕРАЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Кроме металлокерамических твердых сплавов в машиностроении применяют новый дешевый инструментальный материал. Его основой является корунд — окись алюминия (Al_2O_3) с другими веществами. Минералокерамические материалы не содержат дефицитных и дорогостоящих элементов — вольфрама, кобальта и др.

Широкое применение в настоящее время получил минералокерамический материал ЦМ-332 — микролит. По твердости ($HRC\ 90—95$), тепло- и износостойкости он превосходит твердые сплавы. Микролит характеризуется высокой химической стойкостью, а также относительно хорошими прочностными свойствами. Инструменты, оснащенные пластинками микролита, не теряют своей твердости при нагревании в процессе работы до $1200^\circ C$. Поэтому их с большой эффективностью применяют при чистовой и получистовой обработке стальных и чугунных деталей, цветных металлов и их сплавов, неметаллических материалов на высоких скоростях с небольшими глубинами резания и подачами.

Технология изготовления пластинок микролита следующая: подготовленный порошок формуют, прессуют, а затем спекают при температуре $1750—1900^\circ C$. Пластинки можно получить также горячим литьем под давлением (шликерный метод). К державкам инструментов пластинки крепят путем припаивания или механическим креплением.

36. ПОНЯТИЕ О ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Изготовление деталей и изделий из металлических порошков называют порошковой металлургией (металлокерамикой). Методы порошковой металлургии позволяют получить материалы и детали, обладающие высокой жаростойкостью, износостойкостью, твердостью, заданными стабильными магнитными свойствами, особыми физико-химическими и технологическими свой-

ствами, которые невозможно получить методами литья или обработкой давлением.

Процесс производства деталей и изделий из порошковых материалов заключается в приготовлении металлического порошка, составлении шихты, прессовании и спекании заготовок. Твердые хрупкие материалы измельчают на шаровых, вихревых и вибрационных мельницах до образования металлического порошка. Основной частью всех металлокерамических твердых сплавов являются порошки карбидов тугоплавких металлов — вольфрама, титана и тантала. В качестве связующего материала в состав твердых сплавов обычно входит кобальт. Твердость карбидов таких сплавов приближается к твердости алмаза.

Формообразование заготовок и изделий из порошков осуществляется прессованием и другими методами. Прессование выполняют на гидравлических или механических прессах. Давление прессования составляет 150—800 МПа в зависимости от состава порошка и назначения изделия. Для придания деталям и изделиям необходимой прочности и твердости их подвергают спеканию. Операция спекания состоит в нагреве и выдержке изделий в печи 1—2 ч при температуре, примерно равной 0,6—0,8 температуры плавления основного компонента. Спекание производят в электропечах сопротивления, индукционным нагревом или путем непосредственного пропускания тока через спекаемое изделие. Для предотвращения окисления металлических порошков спекание ведут в аргоне, гелии, в вакууме или в среде водорода. Для придания изделиям окончательной формы и точных размеров готовые изделия после спекания подвергают термической, химико-термической обработке и размерной обработке физико-химическими методами.

37. НОВЕЙШИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Для оснащения рабочей части металлорежущего инструмента в последнее время разработаны и нашли широкое применение новые сверхтвердые инструментальные материалы на основе поликристаллов кубического нитрида бора (марок 01, 05 и 10) и алмаза (карбонадо, баллас).

Поликристаллы кубического нитрида бора по своей теплостойкости (до 1300° С) превосходят все имеющиеся

инструментальные материалы, используемые для оснастки режущего инструмента: алмаз — в 1,9 раза, быстрорежущую сталь — в 2,3 раза, твердый сплав — в 1,7 раза. Поликристаллы изготавливают в форме цилиндров и сферические с размерами: длина 3,5—8 мм, диаметр 3—5 мм. Поликристаллы монтируют в державках резцов, а затем соединяют вакуумной пайкой или горячей опрессовкой стальной втулки с поликристаллом.

Режущие инструменты, оснащенные поликристаллами нитрида бора, предназначены главным образом для обработки чугуна и стали любой твердости при высоких скоростях резания. Стойкость резцов из кубического нитрида бора при обработке закаленных сталей твердостью *HRC* 62—65 в десятки раз выше стойкости резцов из твердого сплава. При обработке чугуна такими резцами может быть достигнута шероховатость поверхности 6—8-го классов; при этом обеспечивается высокая точность обработки.

Режущие инструменты, оснащенные поликристаллическими алмазами типа карбонадо и баллас, применяют при обработке титановых сплавов, минералокерамики, твердых сплавов и т. д. Стойкость таких резцов в 6—10 раз выше, чем стойкость твердосплавных резцов.

ГЛАВА 8

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

В зависимости от назначения неметаллические материалы подразделяются на конструкционные, футеровочные, прокладочные и уплотняющие, лакокрасочные, вяжущие, силикатные эмали, а по химическому составу — на материалы органического и неорганического происхождения.

38. ПЛАСТМАССЫ

Пластические массы в современной технике играют исключительно важную роль. Благодаря ряду ценных свойств они выделились в группу самостоятельных конструкционных материалов.

Пластмассами называют неметаллические материалы, получаемые на основе природных и синтетических полимеров и перерабатываемые в изделия методами пластической деформации. Источниками сырья для изготовления пластмасс служат природный газ, продукты нефти, уголь. Эти источники доступны, дешевы и практически неисчерпаемы.

В зависимости от химических свойств применяемых смол пластмассы, получаемые на их основе, подразделяются на две основные группы: термопластичные и термореактивные массы. Первые не претерпевают химических изменений в процессе переработки их в изделия, при чем этот процесс может быть повторен неоднократно. В группу термопластичных пластмасс входят полиэтилен, полистирол, полиамидные смолы и другие материалы. Термореактивные массы в процессе изготовления изделий при действии повышенных температур ($150\text{—}175^\circ\text{C}$) претерпевают ряд внутренних химических изменений и становятся непригодными к перепрессованию. К важнейшим представителям термореактивных пластмасс относятся фенопласты и аминопласты.

Изделия из пластмасс получают прессованием, литьем под давлением, штамповкой листовых пластмасс и другими способами.

Прессование — наиболее широко распространенный способ получения изделий из термореактивных пластмасс в пресс-формах, предварительно нагретых до $130\text{—}150^\circ\text{C}$. В качестве основного оборудования для прессования пластмасс обычно применяют гидравлические или механические прессы.

Пластмассы легко поддаются обработке на металлорежущих станках. Особенности обработки пластмасс определяются их специфическими свойствами. В ряде случаев рабочая поверхность инструмента в процессе резания обволакивается смолами, что затрудняет отвод стружки и ухудшает качество обработанной поверхности.

39. РЕЗИНЫ

Резиной называют продукты переработки натурального каучука (НК) или искусственного синтетического каучука (СК) с вулканизатором (серой) и с различными

добавками. Резина характеризуется высокой эластичностью, износостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами и химической стойкостью. Совокупность таких свойств выдвинула резину в число незаменимых материалов в различных отраслях народного хозяйства.

Технология производства резины состоит из следующих этапов: приготовления резиновых смесей; переработки смесей в полуфабрикаты и изделия; вулканизации. Разрезанный на куски каучук пропускают через вальцы с целью придания ему пластичности, а затем вносят необходимые добавки и подвергают смешиванию в специальных смесителях. Полученную таким образом смесь (однородную массу) называют сырой резиной. Сырая резина подвергается дальнейшей переработке: выдавливанию на червячных прессах заготовок для труб, стержней и других изделий; прессованию в пресс-формах, в вальцах (каландрах) — для получения гладких и рифленых листов; литью под давлением.

Завершающим этапом процесса является вулканизация готовых изделий. Горячая вулканизация осуществляется в специальных котлах (автоклавах) в среде насыщенного водяного пара при температуре 140—160° С и давлении 0,3—0,4 МПа или на гидравлических прессах в горячих формах. Холодную вулканизацию выполняют путем введения в резину раствора полухлористой серы. Вулканизация повышает пластичность, упругость, прочность. Прорезинивание ткани выполняют на специальных клеопропиточных роликовых машинах при непрерывном движении ткани через систему роликов. Для увеличения прочности резины изделия армируют: вводят в стенки упрочняющий материал — стальную проволоку или сетку, стеклянную или капроновую ткань. Для получения пористой, ячеистой резины в состав сырой резины вводят материалы, которые при нагревании разлагаются, образуя в резине поры, ячейки.

В зависимости от методов изготовления различают резину штампованную, формовую и клееную, а по назначению — общего назначения, теплостойкую, морозостойкую, масло- и бензостойкую, кислото- и щелочестойкую, для работы на дизельном топливе, для пищевой промышленности. По свойствам резину разделяют

на два класса: мягкую (эластичную), содержащую 1—3% серы, и твердую (средней и повышенной твердости), называемую эбонитом.

Эбонит — термопластичный материал с высокими диэлектрическими и химическими свойствами (содержит 27—35% серы) — выпускают в виде листов, стержней и трубок. Из эбонита изготавливают детали электроприборов, оси, валики, прокладки. Изделия из резины стандартизированы. Например, из листовой резины (ГОСТ 7338—77) изготавливают уплотнители, амортизаторы, прокладки. В промышленности широко применяют ремни (плоские, приводные, тканевые прорезиненные, клиновые из кордткани или кордшнура) и многие другие детали и изделия из резины.

40. АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Абразивными называют неметаллические вещества, которые применяют при обработке конструкционных материалов. Они обладают высокой твердостью и имеют достаточно острые режущие грани. Используемые в технике абразивные материалы разделяют на природные (алмаз, корунд, кварц) и искусственные (синтетический алмаз, электрокорунд, карбид кремния).

Характеризуются абразивные материалы зернистостью, твердостью, механической прочностью, абразивной способностью. По ГОСТ 3647—71 абразивные материалы подразделяют на четыре группы: шлифзерно, шлифпорошки, микропорошки и тонкие микропорошки. Материалы каждой группы различаются по номерам зернистости. Зернистость абразивных шлифзерна и шлифпорошков определяют в сотых долях миллиметра, а микропорошков — в микрометрах. По крупности абразивные материалы указанных групп разделяют на 28 номеров: шлифзерно 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16; шлифпорошки 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3; микропорошки М63, М50, М40, С28, М20, М14; тонкие микропорошки М10, М7, М5.

Твердость абразивных инструментов принято обозначать буквами М — мягкий, СМ — среднемягкий, С — средний, СТ — среднетвердый, Т — твердый, ВТ — весьма твердый, ЧТ — чрезвычайно твердый. Процесс изготовления абразивных инструментов складывается из

следующих операций: размола; измельчения материалов; сортировки по номерам (просеивания через сито); смешивания; увлажнения; формования для получения формы и размеров изделий; сушки и зачистки и отделки поверхностей изделий шлифовальными шкурками. Это бумага с наклеенными на нее зернами абразива, притирку и полирование выполняют абразивными пастами. Пасты состоят из жидких или твердых смесей абразивных веществ с добавками химически активных веществ (олеин, стеорин).

Все абразивно-доводочные пасты в зависимости от применяемого материала делят на две группы: жесткие (алмаз, карбид бора, наждак) и мягкие (окись железа, кварц). Кроме абразивных веществ в состав паст для связки входят: оленовая смола, парафин, а также скипидар, подсолнечное масло, канифоль. Синтетические алмазы широко применяют для изготовления высокопроизводительных инструментов, порошков и паст. Алмазные пасты являются наиболее эффективными средствами для выполнения доводочных и притирочных работ. Из синтетических алмазов АСМ и АМ ГОСТ 9260 готовят пасты для окончательной доводки деталей и изделий, которые должны соответствовать пятому классу по ГОСТ СЭВ и иметь шероховатость поверхности 12 классов.

Абразивный инструмент принято маркировать буквенными обозначениями, характеризующими абразивный материал: зернистость, твердость. По этим данным выбирают инструмент для той или иной технологической операции. Маркировка проставляется краской на абразивном инструменте. Например, маркировка на плоском круге ПП450×50×1273АЗЭ50С1Б означает: ПП — круг плоский прямоугольного профиля; 450 — номинальный диаметр круга; 50 — высота круга; 127 — радиус отверстия круга (все размеры в миллиметрах); А — Златоустовский абразивный завод; Э — элемент; 50 — зернистость; С1 — средняя твердость бакелитовая связка.

41. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ И СКЛЕИВАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Лакокрасочные материалы и покрытия применяются во всех отраслях народного хозяйства для металлических изделий от коррозии, а древесины от гниения и в декоративных целях. Основными материалами изготовления лакокрасочных материалов служат природные и искусственные (синтетические) смолы. К природным смолам относят канифоль, асфальты, нефтяные битумы; к искусственным — алкидные, эпоксидные, полиакриловые смолы, синтетические каучуки. В состав лакокрасочного материала кроме смолы входят пленкообразующие вещества, пигменты, наполнители, сиккативы, растворители.

Лакокрасочные материалы разделяют на грунтовки, шпатлевки, эмали, лаки, нитрокраски, масляные краски, эмульсионные краски.

Пленкообразующие вещества создают защитную пленку и являются связующими для пигментов и наполнителей. К ним относят растительные масла, различные смолы. Пигменты — вещества в порошковой форме (охра, цинковая зелень, алюминиевый порошок, мумия), которые не только придают краскам или лакам цвет, но и повышают их защитные свойства. Наполнители (тальк, мел, асбест) — это добавки к пигментам, которые повышают устойчивость и прочность красочного слоя. Сиккативы — вещества, ускоряющие высыхание масел.

Растворители (спирт, скипидар, бензол) применяют для растворения пленкообразующих, приготовления шпатлевки, грунта, эмалевых красок.

Лаки — это растворы пленкообразующих веществ (смол, смолоподобных продуктов) в различных растворителях.

В зависимости от пленкообразующих веществ лаки разделяют на природные (масляные) и искусственные — приготовленные на основе искусственных смол и эфиров целлюлозы, бакелитовые и нитролаки.

Масляные краски представляют собой суспензию пигментов в олифах (связующих) и выпускаются лакокрасочными заводами либо в виде густотертых паст, которые на месте разводят олифой до рабочей вязкости,

либо в виде готовых к употреблению составов. Эмалевые краски представляют собой суспензию пигментов в лаках. При высыхании эти краски образуют твердую, блестящую, эластичную пленку, напоминающую эмаль.

Эмульсионные краски изготавливают из эмульсий, т. е. однородных систем двух жидкостей. Для предотвращения расслаивания в эмульсии добавляют стабилизаторы — казеин, желатин, мыло.

Эмульсионные краски применяют для окраски деревянных частей сеялок, жаток, комбайнов в сельхозмашиностроении.

Процесс окраски состоит из нескольких основных операций: подготовки поверхности, грунтовки, шпатлевки (при наличии шероховатостей, неровностей, трещин, раковин), просушки, нанесения краски.

Нанесение покрытий осуществляется кистью механическим и воздушным распыливанием (пульверизацией), окунанием и обливанием. Затем изделие подвергают естественной или искусственной сушке.

Склеивающие материалы служат для получения неразъемных соединений деталей и конструкций из однородных и различных материалов. Клей представляет собой вязкое вещество, обладающее склеивающей способностью.

Клеи подразделяют на белковые, или растительные (крахмал, декстрин, резиновый), и животные (костяной, казеиновый, мездровый или столярный).

Технологический процесс склеивания деталей состоит из следующих этапов: подготовки поверхности к склеиванию; нанесения клея; выдержки; сборки склеиваемых деталей; склеивания при определенной температуре и давлении с последующей выдержкой; очистки шва от подтеков клея и контроля качества клеевого соединения.

Используют клеи различных марок. Так, фенольные клеи БФ-2, БФ-4, КБ-3 применяют для горячего склеивания металлов, пластмасс, древесины, керамики, фарфора, а эпоксидные клеи ЭД5, ЭД6 — для холодного склеивания названных выше материалов. Полиамидный клей ППФЭ2/10 используют для холодного и горячего склеивания алюминия, меди, древесины, полиамидных пленок, кожи.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Литейным производством называется процесс получения разнообразных фасонных отливок, представляющих собой заготовки деталей или изделия. Сущность литейного производства заключается в заполнении литейной формы расплавленным металлом, после затвердевания которого получается литая деталь — отливка. Последующей механической обработкой (если это требуется) отливкам придают точные размеры и форму.

В машиностроении около 50% массы всех деталей изготавливают литьем. Стоимость литой детали, как правило, ниже стоимости аналогичной детали, изготовленной другим способом. Во многих случаях изготовить нужные детали можно только литьем, особенно детали очень сложной конфигурации, которые ковкой, штамповкой, сваркой получить затруднительно или невозможно.

**42. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ
О ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Для изготовления отливок применяются серые и белые чугуны; углеродистые и легированные стали; бронзы, латуни, литейные алюминиевые, литейные магниевые, литейные тугоплавкие сплавы, на основе титана ниобия, ванадия, молибдена, вольфрама).

Технологический процесс получения отливок. Основными операциями процесса получения отливок являются: изготовление модели, выполнение литейной формы, плавка металла и заливка его в формы, выбивка отливок из форм, обрубка и очистка литья. Наибольшее применение находит изготовление отливок в песчаных формах. Чтобы сделать литейную форму, необходимы модель и стержневой ящик. Форма модели соответствует внешней форме будущей отливки. В стержневом ящике изготавливается стержень, служащий для образования внутренних полостей отливки.

Модели и стержневые ящики делаются цельными, разъемными, из двух и более частей и с отъемными частями, что облегчает выемку модели из формы и стержня из ящика.

Модельный комплект изготавливают по чертежам отливки. На рис. 21 показана отливка 1 и служащая для ее изготовления разъемная модель 2; у модели имеются специальные выступы *К*, называемые знаками модели, они служат для создания в форме опорных отпечатков, необходимых для установки стержня. Разъемный стержневой ящик 3 имеет соответствующие полости для получения знаков стержня при его изготовлении.

Размеры модели должны быть больше, чем размеры отливок, на величину усадки. Отливки, в свою очередь, должны иметь припуски на механическую обработку. Материалами для моделей и стержневых ящиков служат дерево, металлы и пластмассы.

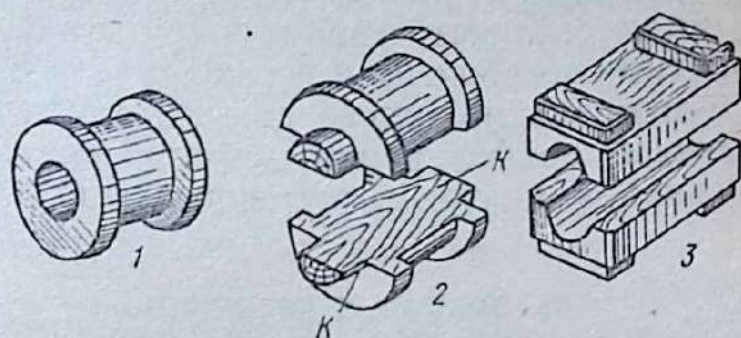


Рис. 21. Модельный комплект для изготовления отливок

Формовочные и стержневые смеси. Материалы, из которых делают литейные формы называются формовочными смесями. Они должны обладать прочностью, пластичностью, огнеупорностью, газопроницаемостью и податливостью. Формовочные смеси по назначению делятся на облицовочные (ими покрывают модель, толщина слоя 20—30 мм), наполнительные (ими заполняют остальную часть формы) и единые для заполнения всей формы.

Основными составляющими формовочных смесей являются выбитая из опок, отработанная смесь, в которую добавляют свежие материалы (глину, песок) и предусматриваемые технологией вспомогательные материалы (добавки). На поверхности форм и стержней наносят краски и пасты, которые не только уменьшают пригар, но и увеличивают поверхностную прочность форм и стержней. Наиболее качественной является цирконовая краска, в состав которой можно вводить

легирующие и модифицирующие редкие и редкоземельные элементы, улучшающие поверхность отливок.

Стержневые смеси по составу разделяются на песчано-глинистые (для изготовления крупных стержней на каркасах и др.) и песчано-масляные на основе растительных масел и синтетических смол.

Широко применяются для изготовления форм и стержней быстросохнущие, продуваемые углекислым газом смеси, связующим для которых является жидкое стекло; жидкосамотвердеющие смеси (ЖСС), не требующие уплотнения, основой которых является кварцевый песок, связующим — жидкое стекло. Применяются также холоднотвердеющие в течение 20—30 мин и песчано-смоляные смеси для изготовления стержней в нагретых до 250—280° С (горячих) стержневых ящиках, затвердевающие в течение 1—2 мин.

Для уменьшения пригара на поверхности отливок применяются новые формовочные материалы — цирконий и оливинитовые пески, магнезит и хромомagneзит.

Выбор состава формовочных и стержневых смесей зависит главным образом от вида сплава, из которого получают отливки. Состав смеси указывается в технологическом процессе.

Приготовление формовочных и стержневых смесей заключается в увлажнении и перемешивании их составных частей в специальных машинах — смешивающих бегунах, работающих, как правило, в автоматическом режиме. По способу изготовления форм различают смеси для формовки сырую (если формы перед заливкой не сушат) и всухую (если формы сушат) для изготовления сложных по форме или крупных отливок. Более распространена формовка сырую с применением единых смесей.

Формовка. Для изготовления литейных форм по модели в формовочном материале образуют полости, соответствующие по очертаниям и размерам изготавливаемой отливке, а затем заполняют их расплавленным металлом. Формовка бывает ручная и машинная. Ручная формовка применяется в индивидуальном, машинная — в серийном и массовом производстве. Поскольку ручная формовка малопродуктивна и трудоемка, она имеет ограниченное применение. Основным способом является машинная формовка, осуще-

ставляемая на специальных формовочных машинах при этом механизмируются две операции: уплотнение смеси в опоке и извлечение модели из формы. Опоки служат для изготовления литейных форм и представляют собой литые или сварные ящики без дна, выполненные из чугуна, стали или алюминиевых сплавов.

Машинную формовку производят по модельным плитам, на которых установлены модели. К модельным плитам прикрепляют опоки. По способу уплотнения формовочной смеси в опоках формовочные машины

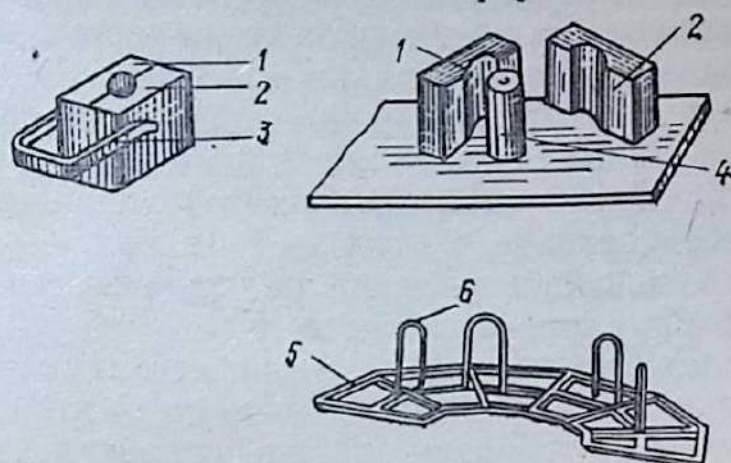


Рис. 22. Изготовление стержня в разъемном ящике

делятся на встряхивающие, прессовые, пескометы. Прессовые машины применяют для уплотнения формовочной смеси прессованием. Этим способом изготавливают литейные формы в опоках высотой до 1000 мм. В настоящее время для изготовления литейных форм прессованием применяются высокопроизводительные автоматические прессово-формовочные линии (АПФЛ) и дистанционно управляемые прессово-формовочные линии (ДУПФЛ). Пескометы применяются для наполнения формовочной смесью опок с одновременным ее уплотнением.

Изготовление стержней. Для изготовления стержней чаще применяют разъемные стержневые ящики. На рис. 22 изображен разъемный, состоящий из двух половин 1 и 2 стержневой ящик для изготовления вручную цилиндрического стержня 4. Рабочие поверхности ящика предварительно припыливают лycopодием или опрыскивают керосином (металлические ящики) для предохранения от прилипания смеси. Собранный ящик

набивают стержневой смесью, затем снимают скобу 3 и раскрепляют ящик. Его половинки легким постукиванием отделяют от стержня 4, который затем сушат. Для увеличения прочности стержней в них вкладывают металлические каркасы, представляющие собой чугунную рамку 5 со стальными прутками 6.

Машины, применяемые для изготовления стержней, по конструкции и работе сходны с формовочными машинами. В крупносерийном и массовом производстве ши-

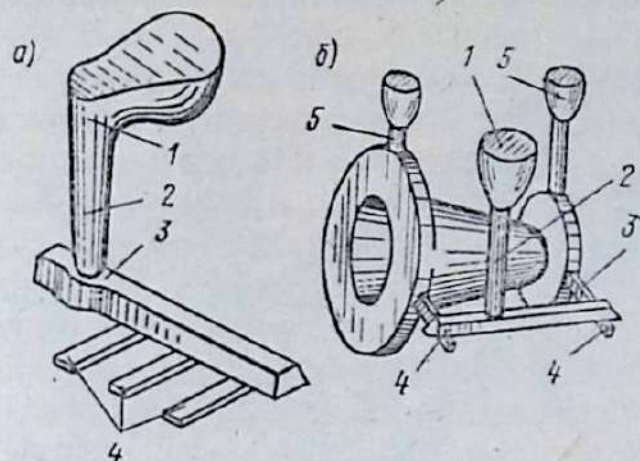


Рис. 23. Литниковая система: а — устройство нормальной литниковой системы; б — установка литника и выпора на отливке

роко применяются пескодувные и пескострельные машины. Сушка форм и стержней производится в сушилках периодического и непрерывного действия. Применяется также сушка стержней токами высокой частоты.

Система каналов, по которой жидкий металл поступает в форму, называется литниковой системой. Обычная литниковая система (рис. 23) состоит из литниковой чаши 1, стояка 2, шлаковика 3 и питателей 4. Число и расположение питателей определяются конструкцией и размерами отливки. На высоких частях отливок устанавливают выпоры 5 для выхода газов. Для борьбы с усадочными раковинами на крупных отливках устанавливают прибыли. В небольших литейных цехах и при изготовлении единичных, крупных отливок формы заливают на формовочной площадке.

В конвейерных литейных цехах заливку производят на конвейере. Формовочные машины устанавливают вдоль замкнутого конвейера (рис. 24), который состоит из ряда тележек 7, непрерывно движущихся

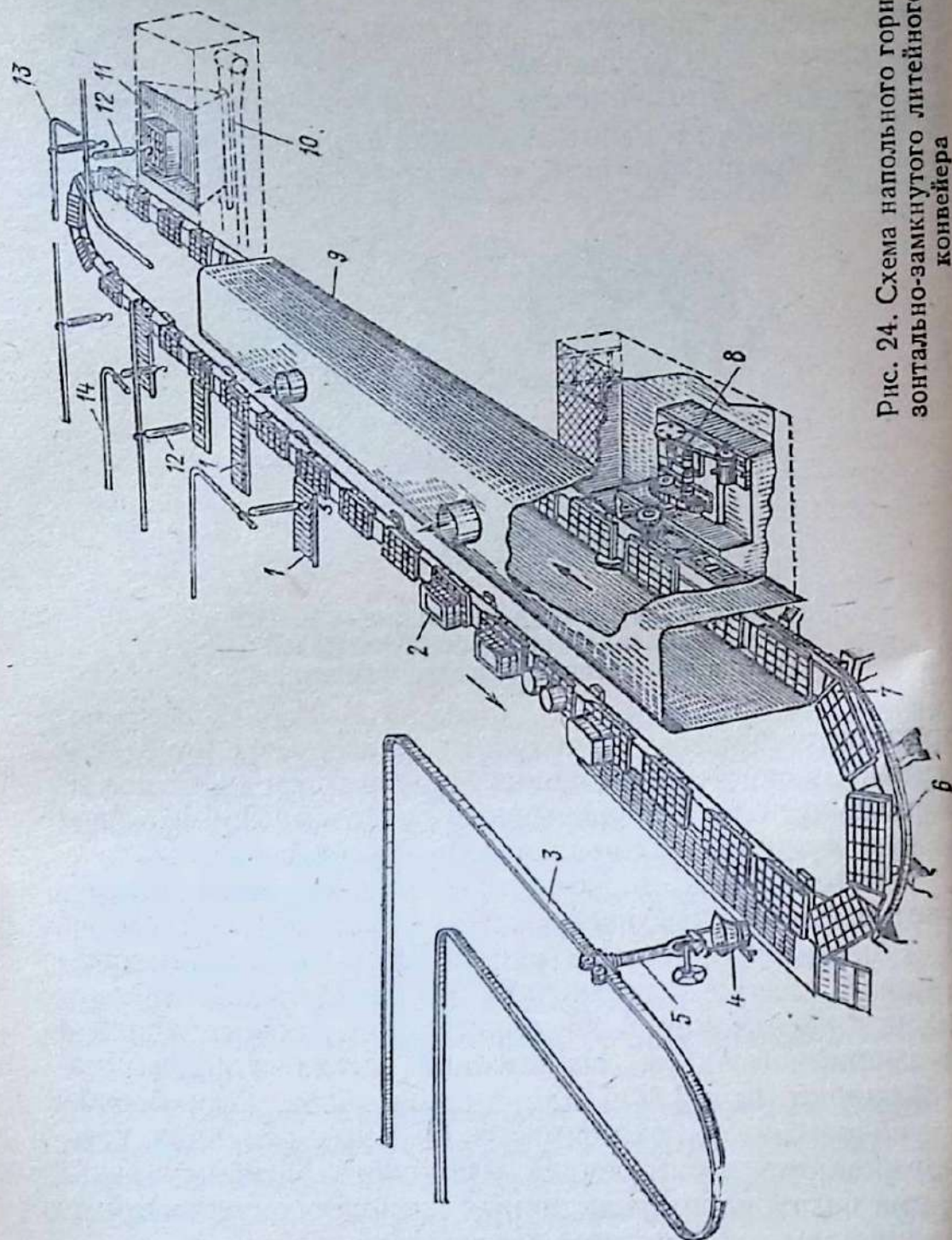


Рис. 24. Схема напольного горизонтально-замкнутого литейного конвейера

по рельсовому пути 6 при помощи привода 8. Изготовленные на машинах формы собирают на рольгангах 1, в нижнюю полуформу помещают стержни, затем верхней полуформой накрывают нижнюю по фиксирующим штырям верхней опоки. Собранные готовые формы 2 с помощью монорельсов 14 и пневматических подъемников 12 ставят или сталкивают по рольгангу на тележки конвейера в заливочное отделение. Там производится заливка форм из заливочных ковшей 4, подаваемых к месту заливки от плавильных агрегатов с помощью монорельсов 3 и тельферов 5. Перед заливкой формы крепятся скобками или загружаются грузами. Залитые формы проходят через охлаждающий кожух 9 и поступают в отделение выбивки, где формы снимают с конвейера пневматическим подъемником 12, ставят на выбивную решетку 11 или сталкивают на нее специальным толкателем, а затем выбивают.

Выбитая формовочная смесь поступает через выбивную решетку на транспортер 10 и направляется в землеприготовительное отделение. Пустые опоки возвращаются пневматическим подъемником по монорельсу 13 к формовочным машинам. Отливки поступают в отделение обрубки и очистки. Применяются также полуавтоматические и автоматические выбивные установки. Большие формы заливают на формовочной площадке крановыми ковшами, транспортируют к месту заливки мостовыми кранами. Для разлива стали ковши имеют стопорное устройство. Выбивка стержней производится вручную, с помощью вибрационных машин или вымыванием струей воды, выбрасываемой из сопла под давлением 3—10 МПа в специальных гидрокамерах. Обрубка и очистка отливок состоит в удалении литников, прибылей, выпоров, пригоревшей земли с поверхности отливок, зачистке неровностей и заливов.

43. ПОНЯТИЕ О ПЛАВИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Плавку металлов и сплавов в литейных цехах производят в вагранках, электропечах, пламенных печах, конверторах и тиглях. Отливки из серого чугуна получают плавкой (главным образом в вагранках) шихты, состоящей из доменных чушковых чугунов, чугуна машинного лома, стальных отходов и ферросплавов. Топливом для плавки в вагранках служит кокс.

На ряде отечественных заводов применяются вагранки закрытого типа, оснащенные специальными системами высокоэффективной очистки и дожигания ваграночных газов. Операции загрузки вагранки шихтой, плавка чугуна, выпуск из вагранки металла и шлака проводятся в автоматическом режиме с центрального пульта управления. Вагранки имеют поворотные копильники с подогревом в них жидкого металла, кроме того применяется водяное охлаждение шахты вагранки и подогрев дутья. На ряде предприятий находят применение коксогазовые и газовые вагранки. Для плавки чугуна служат также дуговые трехфазные печи, главным образом при дуплекспроцессе вагранка — электропечь и при получении высокопрочного чугуна и индукционные электропечи, выплавляющие синтетический чугун из стальных отходов.

Плавка стали для производства фасонного литья осуществляется в мартеновских печах, электрических — дуговых и индукционных, в конверторах с боковым дутьем. Основная масса стали для производства фасонных отливок плавится в дуговых электропечах. Плавка сплавов на медной основе производится в тигельных, пламенных печах, в дуговых и индукционных электропечах. Алюминиевые и магниевые сплавы плавят в электропечах сопротивления, индукционных печах, тигельных горнах. Помимо обычной заливки земляных форм алюминиевыми сплавами применяется заливка форм с кристаллизацией жидкого металла под давлением воздуха 0,5—0,6 МПа для получения отливок повышенной плотности. Для плавки титановых сплавов применяют специальные тигельные печи; плавку и заливку их производят в защитной атмосфере (большей частью в среде аргона). Освоено промышленное производство отливок из титановых сплавов для нужд авиационной промышленности. Для плавки используется электронно-лучевая вакуумная электропечь мощностью 40 и 500 кВт.

44. ЧУГУННОЕ, СТАЛЬНОЕ ЛИТЬЕ, ЛИТЬЕ ИЗ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ, ДЕФЕКТЫ ОТЛИВОК

Наибольшее количество отливок массой от нескольких граммов до нескольких сотен тонн изготавливается из чугуна. Чугун имеет высокие литейные, антикоррозионные и антифрикционные свойства, достаточно высо-

кую прочность и невысокую стоимость. Наибольшее распространение получил серый чугун.

Фасонные стальные отливки из углеродистой стали и из различных легированных сталей разнообразной конфигурации массой от 10 г до 200 т широко применяются в современном машиностроении. Стальные отливки обладают более высокой прочностью и вязкостью, чем отливки из серого и ковкого чугуна. Однако по литейным свойствам сталь уступает чугуну (она имеет большую усадку, низкую жидкотекучесть и т. д.).

Для производства фасонных отливок используют также бронзы и латуни, алюминиевые сплавы, содержащие 6—13% кремния. Они обладают высокими литейными свойствами (малой усадкой, хорошей жидкотекучестью), достаточной механической прочностью, высокой пластичностью. По сравнению с алюминиевыми магниевые сплавы имеют более низкие механические и литейные свойства, но в связи с меньшей плотностью широко используются в самолетостроении. Основными видами брака литья являются газовые, земляные шлаковые и усадочные раковины, недостаточное заполнение литейной формы металлом, горячие и холодные трещины, коробление, несоответствие микроструктуры, химического состава, механических свойств металла отливок требованиям ГОСТа и технических условий.

45. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЛИТЬЯ

Литье в металлические формы (кокильное). Кокильное литье применяется при изготовлении большого количества однородных отливок из стали, чугуна и цветных сплавов. В отличие от земляных (разовых) форм, металлические формы выдерживают большое количество отливок (до сотен тысяч для легкоплавких сплавов цветных металлов). Кокили изготавливают из стали или чугуна. Перед заливкой кокили подогревают. В крупносерийном и массовом производстве применяются кокильные, литейные машины, работа которых механизирована и даже автоматизирована.

Центробежное литье. При этом способе отливки получают посредством заливки металла во вращающуюся форму. Под действием возникающих при вращении центробежных сил металл прижимается к стенкам формы и, застывая, приобретает очертания, точно

соответствующие ее внутренним очертаниям. Отливки имеют высокую плотность благодаря уплотнению жидкого металла центробежными силами. Центробежным способом изготавливают отливки из любого сплава.

Литье под давлением. Этим высокопроизводительным способом получают отливки из цветных сплавов: алюминиевых, магниевых, медных, оловянных, свинцовистых, цинковых, — применяемых преимущественно для мелких деталей автомобилей, мотоциклов, паровой и водяной арматуры, счетных машин, электроаппаратуры и других деталей серийного и массового производства. Расплавленным металлом под давлением около 100 МПа заполняется металлическая, обычно стальная, форма при помощи специальной машины компрессорного или поршневого действия. Литьем под давлением получают детали сложной конфигурации с толщиной стенки до 0,5 мм и с мелкими отверстиями диаметром до 1 мм, резьбой, приливами, выступами и т. п. Полученные детали имеют малую шероховатость и большую точность размеров (11—12-го квалитетов СТ СЭВ).

Литье по выплавляемым моделям. По выплавляемым моделям получают главным образом мелкие, сложные, в том числе и тонкостенные отливки (толщина стенок до 0,3 мм), с точностью размеров 12—14-го квалитетов СТ СЭВ и шероховатостью поверхности 5—6-го классов, из любых, особенно труднообрабатываемых сплавов. Металл заливают в формы, полученные после выплавки из них предварительно заформованных стеарино-парафиновых моделей.

Литье в оболочковые (корковые) формы. При этом способе получают отливки из чугуна, стали, цветных сплавов повышенной точности. Металл заливают в литейные формы, изготовленные из специальных оболочек (корок).

Контроль качества отливок производят после их выколотки из форм и очистки. В соответствии с требованиями ГОСТа и технических условий проверяют наличие пороков (например, раковин, трещин), определяют механическую прочность на специальных образцах, твердость, химический состав.

При наличии дополнительных требований контролируют микроструктуру, измеряют плотность гидравлическим давлением и т. д.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Обработкой металлов давлением называется изменение формы заготовки под воздействием внешних сил (например, удара молота, давления прессы).

**46. ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ,
ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ МЕТАЛЛОВ**

С возникновением остаточных деформаций от удара или давления металл меняет свою форму в желаемом направлении без разрушения. Одновременно происходит изменение структуры металла и его механических и физических свойств. Такое необратимое изменение формы называется пластической деформацией. Для создания пластической деформации металл необходимо подвергнуть напряжениям, которые больше его предела упругости, но меньше предела прочности.

Обработка металлов давлением применима только к металлам, обладающим достаточной пластичностью, и неприменима к хрупким металлам (например, к чугунам). Давлением обрабатывают сталь, медные, алюминиевые, магниевые и другие сплавы. Этот вид обработки является высокопроизводительным.

Обработка давлением может производиться как в холодном, так и в горячем состоянии. В процессе пластической деформации металла в холодном состоянии вследствие деформирования микроструктуры твердость и хрупкость металла непрерывно увеличиваются, а пластичность и вязкость уменьшаются. Эти изменения свойств называются упрочнением (наклепом). Они могут быть устранены, например, с помощью термической обработки (отжига). Процесс замены деформированных, вытянутых зерен новыми, равновесными, происходящий при определенных температурах, называется рекристаллизацией.

При температурах ниже температуры начала рекристаллизации наблюдается явление, называемое возвратом. При возврате (отдыхе) размеры и форма деформированных, вытянутых зерен не изменяются, но в значительной степени снимаются остаточные напряжения, возникающие при литье, обработке давлением и т. д.

С увеличением температуры нагрева пластичность металлов непрерывно (за исключением промежуточного интервала температур между холодной и горячей деформациями) увеличивается, а его прочность — сопротивление деформированию снижается. С увеличением скорости деформации сопротивление металла деформированию увеличивается, поэтому динамическая деформация под молотом вызывает большее сопротивление металла, чем под прессом

47. НАГРЕВ МЕТАЛЛА ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ

Нагрев заготовок производится с целью уменьшения сопротивления деформированию. При горячей деформации сопротивление деформированию примерно в 10 раз меньше, чем при холодной. Это позволяет

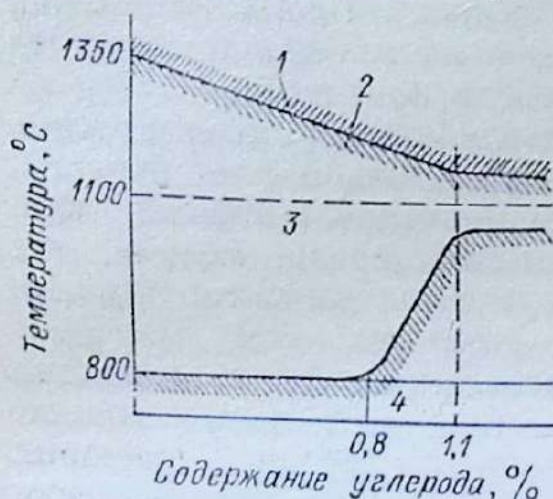


Рис. 25. Кривая температурного интервала горячей обработки давлением углеродистой стали:

1 — зона пережога; 2 — зона перегрева; 3 — зона горячей обработки давлением; 4 — зона наклепа

снизить стоимость изготавливаемых изделий. Для каждого металла и сплава температура горячей обработки имеет свои верхний и нижний пределы, образующие область нагрева, называемую температурным интервалом обработки.

На рис. 25 показана область нагрева углеродистой стали для горячей обработки давлением в зависимости от содержания углерода. Ее верхние пределы ле-

жат на 100—150°C ниже температуры начала плавления (т. е. линии солидуса). Нижние пределы — на 60—75°C выше температур превращения перлита и цементита в аустенит (т. е. линии перлитных превращений). Выше линии верхних температурных пределов находится зона пережога, ниже линии нижних температурных пределов — зона упрочнения (наклепа). Пережженный металл годен только на переплавку. Зона перегрева является зоной наиболее интенсивного роста зерна и дает крупно-

зернистую структуру металла, непрочную и хрупкую, которая может быть исправлена последующим отжигом на мелкое зерно. Обработка металлов давлением при температурах зоны наклепа дает напряженный и хрупкий (наклепанный) металл и может привести к разрушению его. Наклеп можно устранить последующей термообработкой (отжигом).

Температуры зоны горячей обработки значительно превышают температуру рекристаллизации, и поэтому получаемый от механического воздействия наклеп немедленно уничтожается вследствие рекристаллизации и образования новых зерен. При правильно проведенном режиме горячей обработки давлением зерна металла получаются тем мельче, чем ближе температура конца обработки к нижнему пределу.

В процессе горячей обработки давлением происходит образование мелких зерен, уменьшаются или уничтожаются пороки литого металла (например, газовые раковины, пустоты с неокисленными поверхностями завариваются), кристаллы стали вытягиваются и ориентируются в направлении течения металла, создается волокнистая макроструктура, вследствие чего механические свойства стали вдоль волокон становятся выше, чем поперек волокон. Это свойство используют при изготовлении деталей; заготовку деформируют так, чтобы направление возникающих в детали максимальных растягивающих напряжений совпадало с направлением волокон, причем волокна должны огибать контур изделий и не должны пересекать их.

Нагрев заготовок в печи начинается с их поверхности, в дальнейшем тепло проникает внутрь заготовок за счет их теплопроводности. Для нагрева используются различные нагревательные устройства. Нагрев металла для горячей обработки производится в пламенных и электрических печах, с помощью контактных и индукционных нагревателей. По распределению температуры в рабочем пространстве пламенных печей они делятся на камерные и методические. В камерных печах температура одинакова на всем рабочем пространстве. В методических печах нагрев заготовок осуществляется постепенно, по заданному режиму. В прокатном производстве для нагрева слитков применяются

также колодцевые печи со съёмным или сдвигаемым сводом.

Электрические печи для безокислительного нагрева металлов бывают также камерные и методические. Контактные электронагреватели применяются для нагрева током большой силы (при малом напряжении), проходящим через нагреваемую заготовку, которая в данном случае служит сопротивлением. Заготовка нагревается очень быстро, что обеспечивает высокую производительность и небольшую потерю тепла (к. п. д. установки 70—80%).

Индукционный нагрев производится с помощью индукционного электронагревателя, состоящего из закрытого общим кожухом индуктора, в котором нагреваются заготовки, и монтируемой под ним батареи конденсаторов. Помещенный внутри индуктора металл нагревается под действием магнитного гистерезиса и возбуждаемых в нем вихревых токов. Высокий к. п. д. (60—70%) индукционного нагревателя достигается подбором тока соответствующей частоты.

По сравнению с нагревом заготовок в других печах или индукционном нагреве резко сокращается (в 15—20 раз) время (при подборе соответствующих частот) стальная заготовка диаметром 40 мм нагревается до ковочной температуры за 30—35 с), слой окалины уменьшается в 4—5 раз, обезуглероженный слой практически отсутствует, уменьшается угар металла, улучшаются условия труда (отсутствие облучения от нагревательных печей, бесшумность нагрева и др.). При контактном и индукционном нагреве опасность образования трещин отпадает, так как под действием возникающего в самом металле тепла получается более равномерный нагрев.

48. ПРОКАТКА

Прокаткой называется вид обработки давлением, при котором процесс деформации металла осуществляется сдавливанием его между вращающимися цилиндрами (валками). Сдавливаемый металл вытягивается в продольном направлении, сжимаясь в вертикальном направлении и уширяясь в поперечном направлении. Вследствие возникновения трения между про-

катываемым металлом и валками последние одновременно с деформированием осуществляют подачу до тех пор, пока вся заготовка не пройдет в зазор между валками. Окончательные размеры и форма поперечного сечения полученного прокаткой изделия определяются профилем отверстия между сжимающими металл валками. Прокаткой обрабатывают сталь, цветные металлы и их сплавы.

Прокатка называется продольной, если заготовка движется в направлении, перпендикулярном к осям валков (рис. 26, а), и поперечной — при движении

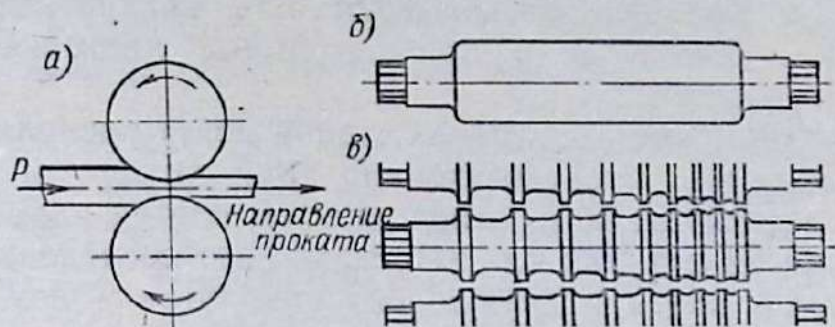


Рис. 26. Продольная прокатка

заготовки вдоль осей валков. Валки для прокатки изготавливаются из углеродистой и легированной стали, а также из отбеленного и высокопрочного чугуна. Они бывают или гладкими (рис. 26, б), или калиброванными (рис. 26, в), т. е. имеющими ручьи определенного профиля (ручьем называется профиль выреза на боковой поверхности валка, калибром называется профиль, составленный смежными ручьями двух валков). Предварительное обжатие производится в обжимных и черновых калибрах, окончательный профиль проката получают в чистовых калибрах.

Оборудование для прокатки. Прокатка производится на специальных машинах — прокатных станах, устройство которых зависит от вида прокатываемых изделий и их размеров. Основными частями прокатного стана являются привод, передаточный механизм и рабочие клетки с прокатными валками. Прокатные станы классифицируются: 1) по числу валков: с двумя валками — дуостаны, с тремя — триостаны, с четырьмя — квартостаны, многовалковые и универсальные, в которых кроме горизонтально расположенных валков

имеются еще и вертикальные валки; 2) по направлению вращения валков: нереверсивные — с постоянным направлением вращения и реверсивные — с переменным направлением вращения валков; 3) по конструкции валков: с гладкими и ручьевыми (калиброванными) валками; 4) по назначению: обжимные, черновые, сортовые, листовые, рельсовые, трубопрокатные и т. д.; 5) по размеру: мелкосортные, среднесортные и крупносортные.

Крупные обжимные станы называются блюмингами или слябингами, на них стальные слитки (массой 5—15 т и больше) прокатываются в квадратные заготовки — блюмы и в прямоугольные листовые заготовки — слябы.

Рабочие клетки сортовых станов могут располагаться в линию или последовательно друг за другом. Станы с последовательным расположением клеток называются непрерывными, так как заготовка идет последовательно из одной клетки в другую без поворотов и возвратов. Полунепрерывными станами называются станы, сочетающие последовательное и линейное расположение клеток. Непрерывные станы дают широкую возможность механизации и автоматизации процесса и применения высоких скоростей прокатки.

Сортамент проката. Продукцией прокатного производства являются готовые изделия (например, балки, трубы, рельсы и др.), заготовки для последующей обработки ковкой, штамповкой, волочением или резанием, сортовой прокат (круг, квадрат, прямоугольник, швеллер, двутавровые балки) и специальные виды проката. К последним относится изготовление труб, бандажей, дисковых колес, турбинных лопаток и т. д. Прокаткой получают трубы бесшовные и со швом (сварные трубы). Наиболее распространенным способом получения бесшовных труб является прокатка заготовки круглого сплошного сечения сначала на специальном трубопрокатном прошивном стане поперечно-винтовой прокатки (стан косой прокатки), в котором заготовка получает винтообразное движение, вследствие чего внутри ее образуется полость, а затем на стане продольной прокатки (пилигриммовом стане), где из полой заготовки получают трубу требуемых размеров.

Сварные трубы изготовляют печной, газовой и электрической сваркой из горячекатаной ленты (штрипса) низкоуглеродистой стали в непрерывных прокатных станах. Поперечную и косую прокатку применяют для получения изделий, которые имеют форму тел вращения.

Периодический прокат имеет закономерно изменяющееся, периодически повторяющееся по длине сечение. Полученные периодической прокаткой профили представляют цепь деталей, имеющих различную форму и размеры (шатуны, оси, валы, рычаги и др.) и являющихся заготовками для последующейковки и штамповки, а также готовых деталей, получаемых последующей резкой периодического проката.

Прокатка производится на станах обычной и специальной конструкции. Производительностьковки и штамповки периодического проката и экономия металла на 25—35% выше, чем обычного проката, расход штампов ниже. Применяются продольный и поперечно-винтовой (для шарообразных заготовок, например, шарикоподшипников) виды проката.

Гнутые профили, применяемые в строительстве зданий, получают прокаткой стального листа, ленты, швеллеров, уголков в роликогибочных станах периодического и непрерывного действия. Прокаткой цветных металлов и их сплавов получают полосы, листы, ленты, трубы и различные другие профили. В основном этот процесс прокатки состоит из тех же операций, что и прокатка стали.

Прокатка бывает горячей и холодной. Холодную прокатку применяют для получения тонких изделий, например, листов малой толщины, стальных полос. Прокатку производят на реверсивных и непрерывных станах; возникающий при этом наклеп устраняется последующим отжигом.

Понятие о бесслитковой прокатке. Этот процесс заключается в совмещенной разливке и прокатке полуфабрикатов из цветных металлов и их сплавов (листов, лент, полос), которые получают заливкой жидкого металла в зазор между двумя охлаждаемыми водой вращающимися валками. Этот способ удешевляет и упрощает изготовление изделий, так как исключается отливка слитков и подготовка их к прокатке.

49. ВОЛОЧЕНИЕ, СВОБОДНАЯ КОВКА, ПРЕССОВАНИЕ

Волочение. Волочением называется особый вид обработки металлов давлением, при котором обрабатываемый металл, обычно в холодном состоянии, протягивается через отверстие волочильной доски — глазок специального инструмента. Сечение этого отверстия меньше сечения протягиваемой заготовки. Волочением обрабатывают сталь, цветные металлы и их сплавы. Этим способом изготавливают проволоку диаметром от 0,03 мм и выше, калиброванные прутки и тонкие трубы. Изделия получают с гладкой поверхностью и точными размерами. Для устранения возникающего в процессе волочения наклепа применяется промежуточный отжиг с последующим травлением для снятия окалины.

Свободная ковка. Ковкой называется процесс деформирования находящегося в пластическом состоянии металла ударами молота или давлением пресса. Полученные ковкой изделия разнообразной формы и массы называют поковками. Различается свободная ковка и ковка в штампах — горячая штамповка. Заготовками для крупных поковок служат слитки, для средних и малых — прокатанные заготовки. Ручной ковкой изготавливают мелкие поковки массой до 10 кг при ремонтных работах и в индивидуальном производстве; она имеет низкую производительность.

Основные операции свободнойковки показаны на рис. 27. Эти операции производятся в последовательности, определяемой формой и размерами подлежащих обработке деталей.

Орудиями для свободнойковки являются молоты, деформирующие металл ударом, и прессы, деформирующие металл статической нагрузкой (без удара).

Ковка на молотах. Пневматический ковочный молот (рис. 28) имеет падающие части, из которых основной является баба 4 с укрепленным в ней верхним бойком 3. Верхний боек при движении бабы вниз наносит удары по заготовке, лежащей на нижнем бойке 2 и закрепленной в шаботе 1 молота. Перемещение падающих частей вниз происходит либо под действием собственной массы (молоты простого действия), либо под действием массы и давления пара или воздуха (молоты двойного действия).

По способу приведения в движение молоты делятся на приводные (механические), работающие от электромотора, пневматические и паровоздушные. По назначению молоты делятся на ковочные (для свободной

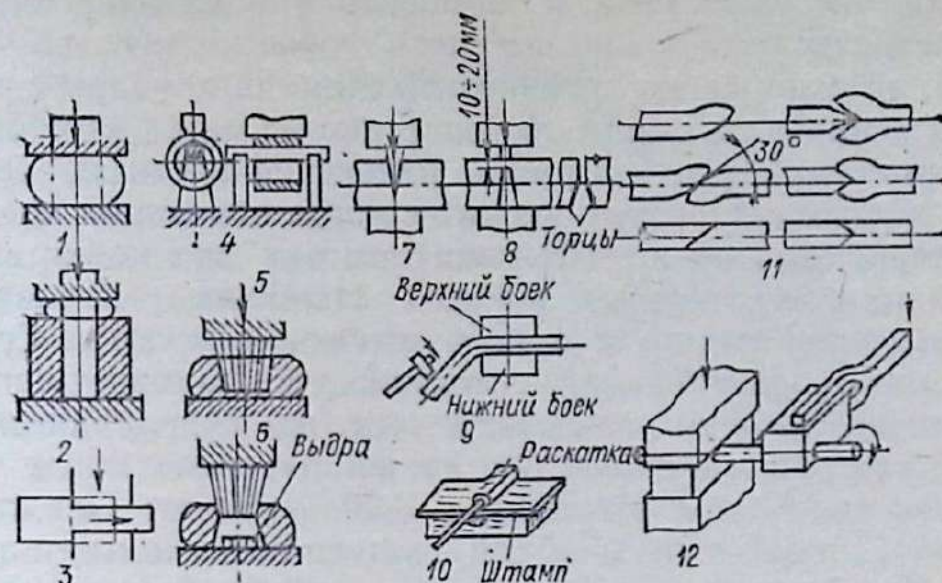


Рис. 27. Схемы основных операций свободнойковки:
1 — осадка; 2 — высадка; 3 — протяжка; 4 — раскатка; 5 и 6 —
протяжка; 7 и 8 — рубка; 9 и 10 — гибка; 11 — сварка; 12 —
кручение

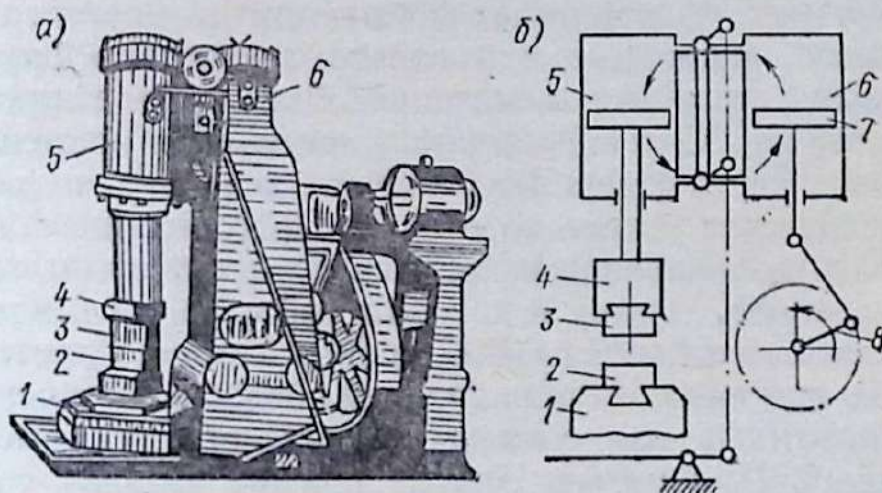


Рис. 28. Пневматический ковочный молот: а — общий
вид; б — кинематическая схема

ковки) и штамповочные (дляковки в штампах). На рис. 28 приведен пневматический ковочный молот с двумя цилиндрами: рабочим 5 и компрессорным 6. Поршень 7 компрессорного цилиндра, приводимый в движение кривошипно-шатунным механизмом 8 от индивидуального электродвигателя, сжимает то снизу, то

сверху находящийся в цилиндре воздух. Сжатый воздух из компрессорного цилиндра поступает в рабочий цилиндр, где попеременно то сверху, то снизу давит на рабочий поршень, выполненный заодно со штоком и бабой, несущей боек. С помощью управляющего устройства молота можно получить любое количество ударов, автоматически производить единичные удары с разной силой, верхним бойком прижимать заготовку к нижнему бойку, держать падающие части на весу.

У пневматических молотов масса падающих частей доходит до 1000 кг. Применяются они дляковки мелких и, реже, средних поковок. Наиболее распространены паровоздушные и пневматические молоты. Средние и крупные поковки изготавливают на паровоздушных молотах двойного действия или на гидравлических прессах. Масса падающих частей паровоздушных молотов колеблется в пределах 1000—8000 кг. Они приводятся в действие энергией сжатого воздуха или пара.

Прессование. Прессование — вид обработки металлов давлением, при котором металл, заключенный в замкнутую форму, выдавливается через отверстие меньшей площади, чем площадь сечения исходного металла. Прессуемый металл принимает форму прутка простого или сложного, сплошного или полого сечения по форме и размерам отверстия в матрице. Заготовка заключена в контейнер. С одной стороны контейнера закреплена матрица, через отверстие которой с помощью пуансона выдавливается металл заготовки. Прессованию подвергают слитки алюминия, меди и их сплавов, а также цинка, олова, свинца и др. Для прессования стальных профилей заготовкой служит прокат. Процесс протекает обычно при температурах горячей обработки давлением.

Применяют два метода прессования — прямой и обратный. При прямом методе течение металла совпадает с направлением движения пуансона; при обратном методе прессования металл течет навстречу движению пуансона. Прессование осуществляется почти исключительно на горизонтальных гидравлических прессах и реже — на вертикальных. Усилие современных гидравлических прессов, применяемых для прессования, достигает 100 МН.

При прессовании по прямому методу приходится затрачивать большее усилие, чем при прессовании по

обратному методу, так как в этом случае приходится преодолевать трение металла о внутренние стенки контейнера. Пуртки сплошного сечения любой формы чаще получают обратным методом прессования, а трубы — только прямым.

50. ШТАМПОВКА

Штамповкой называется способ изготовления изделий сложных очертаний давлением с помощью специальных штампов. Производительность штамповки во много раз выше производительности свободнойковки.

Горячая штамповка. Горячей объемной штамповкой получают в специальных штампах из нагретых заготовок изделия, называемые штампованными поковками. Штампом называется металлическая форма, состоящая обычно из двух частей, в которых имеются полости, по конфигурации соответствующие изготавливаемой поковке. Эти полости называются ручьями. Одна часть штампа закрепляется в подштамповой подушке, установленной на шаботе молота или плите прессы, а другая — в подвижной части его. Каждый штамп годен для изготовления лишь одной определенной поковки, поэтому штампы применяются преимущественно при крупносерийном и массовом производстве. В штампе может быть один или несколько ручьев. Заготовка в многоручьевом штампе получается последовательно, сначала в заготовительных (черновых) ручьях, в которых выполняются операции вытяжки или гибки, и затем в штамповочных для предварительной и окончательной штамповки.

На рис. 29 приведена нижняя половина многоручьевого штампа для штамповки шатуна и показана последовательность получения на нем поковки. Штамповка обычно производится с одного нагрева. Штампы изготавливаются из специальных сталей, обладающих высокой твердостью и жаропрочностью, и из легированного чугуна (для холодной листовой штамповки).

В процессе штамповки рассматривают три фазы: 1) металл течет во все стороны до стенок штампа; 2) металл заполняет полости штампа и стремится вытечь из него; в металле возникают напряжения сжатия, идет образование заусенцев в разрезе двух половин штампа; 3) образованные заусенцы теряют пластические свой-

ства и не дают вытекать металлу, идет уплотнение и окончательное заполнение всех «закоулков» штампа. Применяется также безоблойная штамповка в закрытых штампах, при которой требуются заготовки определенной массы; заусенцы при этом не образуются.

Для объемной штамповки применяют паровоздушные штамповочные молоты двойного действия с массой

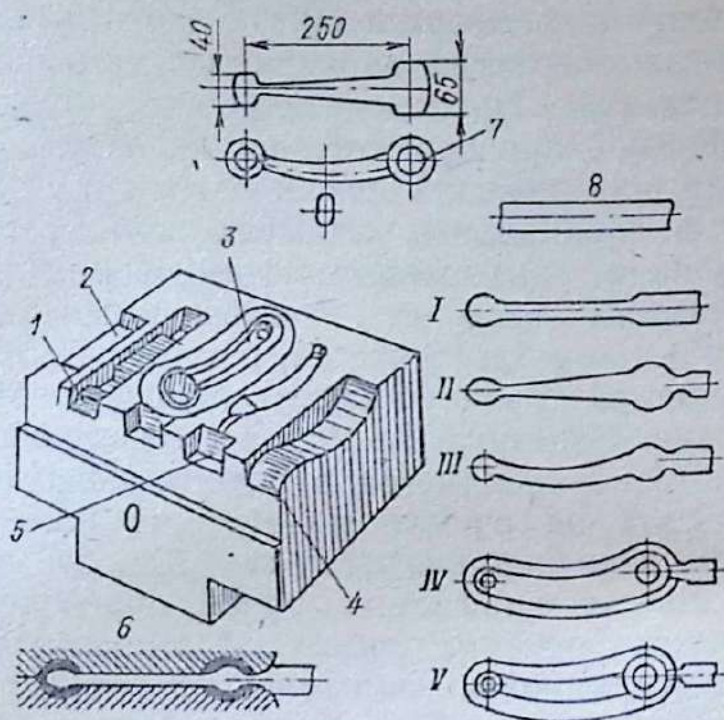


Рис. 29. Многоручьевого молотовый штамп и операции штамповки шатуна:

1, 2, 3, 4, 5 — соответственно подкатной, протяжной, предварительный, гибочный и окончательный ручки; 6 — профиль подкатного ручья; 7 — поковка; 8 — исходная заготовка; I — протяжка; II — подкатка; III — гибка; IV — предварительная штамповка; V — окончательная штамповка

падающих частей до 1800 кг (имеют наибольшее распространение), гидравлические и фрикционные прессы, кривошипные ковочно-штамповочные прессы, горизонтально-ковочные машины, винтовые фрикционные прессы и др. Паровоздушные штамповочные молоты по своему устройству сходны с паровоздушными молотами для свободнойковки. Для горячей штамповки применяются также бесшаботные, высокоскоростные паровоздушные молоты, у которых происходит соударение нижнего и верхнего бойков, движущихся навстречу друг другу со скоростью 20 м/с (на других

штамповочных молотках — 6—8 м/с). При работе на этих молотах отсутствует сотрясение почвы. На этих молотах можно штамповать малопластичные высоколегированные стали и детали сложной конфигурации.

Горизонтально-ковочная машина представляет собой кривошипный, горизонтальный пресс, у которого боек со штампом движется в горизонтальной плоскости. Горизонтально-ковочные машины обладают высокой производительностью (400—900 поковок в час), обеспечивают получение поковок большей точности, чем при штамповке на молотах, и почти не дают заусенцев. На этих машинах операциями высадки нагретых прокатных заготовок получают кольцеобразные изделия и поковки типа стержней с головками или утолщениями.

Горячая листовая штамповка применяется при изготовлении изделий из сталей, не обладающих достаточной пластичностью в холодном состоянии, и получении толстых (свыше 20 мм) листов из низкоуглеродистых сталей.

К завершающим и отделочным операциям при горячей штамповке относятся: калибровка, термическая обработка, очистка, правка и чеканка. В настоящее время работают поточные и автоматические линии штамповки.

Понятие о штамповке взрывом. При этой штамповке используется давление жидкости или газов, под действием которого листовая заготовка деформируется и принимает форму матрицы. Установленная на матрицу листовая заготовка опускается вместе с матрицей в воду, затем производится штамповка взрывом. Она имеет относительно малую производительность, ограниченность ассортимента и характеризуется повышенной опасностью.

Холодная штамповка. Холодной штамповкой изготовляют разнообразные металлические детали из стали, цветных металлов и их сплавов при массовом производстве. Широкое внедрение холодной штамповки объясняется высокой производительностью процесса (например, 30—40 тыс. деталей за смену с одного штампа листовой штамповки), низкой стоимостью, точностью и взаимозаменяемостью деталей, возможностью получения деталей как простой, так и сложной формы. Наибольшую производительность при холодной листовой штамповке обеспечивают автоматические линии.

Перечислим наиболее характерные виды холодной штамповки. Холодная объемная штамповка (осадка, высадка, калибровка, чеканка и выдавливание) небольших деталей, например винтов, гаек, болтов, колец и других изделий из низкоуглеродистых сталей, цветных металлов и их сплавов. Вырезка из листа — полосы или ленты, плоских деталей различного контура (круг, квадрат, овал). Вытяжка пустотелых, открытых с одной стороны деталей из плоской заготовки. Гибка, в которой основным процессом является сгибание под углом одной части плоской заготовки по отношению к другой. Вальцовка — получение из листовых заготовок волнистой (гофрированной) поверхности и других различных выступов и поверхностей (например, накатывание резьбы на цоколях электроламп). Сложная штамповка — комбинация нескольких вышеуказанных операций, осуществляемых за один ход пресса.

Холодная штамповка производится обычно на кривошипных, фрикционных и эксцентриковых прессах, холодная листовая штамповка — преимущественно на кривошипных прессах, а также на универсальных штампах, которые позволяют применить групповой метод изготовления деталей из листовых материалов. Листовой штамповкой изготавливают детали мотоциклов, велосипедов, часов, металлической посуды, резервуаров, облицовочные детали вагонов, самолетов, автомобилей.

51. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

К специализированным процессам относят: обкатывание, раскатывание и калибрование отверстий, накатывание рифлей, зубьев, резьбы и т. д. Обкатыванием и раскатыванием упрочняют и отделяют фасонные и плоские, конические и цилиндрические наружные и внутренние поверхности деталей. Как правило, обкатывают внутренние фасонные и цилиндрические поверхности с применением вращающихся роликов и шариков.

Калиброванием называется однократное или многократное перемещение в отверстие, имеющем несколько меньшие размеры, чем инструмент, шариков, оправки-дорна, специальной прошивки. При этом происходит

сглаживание неровностей, упрочнение обработанной поверхности. Калиброванием получают отверстия с поверхностями 9—10-го классов шероховатости и с размерами по 6—7-му квалитетам СТ СЭВ. Накатывание служит для получения внешних фасонных поверхностей за счет вдавливания инструмента в материал заготовки и выдавливания частиц его во впадины инструмента. Этим методом выполняют резьбы, мелко модульные зубчатые колеса, мелкошлицевые валы, клейма и рифления. Достоинствами метода являются высокая производительность, хорошее качество, низкая стоимость деталей. Кроме того, детали имеют высокую износостойкость, механическую и усталостную прочность.

Токарно-давилые процессы широко применяются для формообразования на токарно-давилых станках изделий из листов и труб, а также методом вытяжки из отливок и поковок деталей, толщина стенок которых в процессе обработки давлением может уменьшиться в 10 раз по отношению к толщине заготовок. Этим методом изготавливают ответственные детали турбин, при этом трудоемкость их изготовления по сравнению с механической обработкой снижается в несколько раз.

Весьма прогрессивной является обработка деталей методом холодного ротационного обжатия (редуцирование). Наружная поверхность после такой обработки становится более износостойкой и гладкой. Производительность процесса редуцирования весьма высокая.

ГЛАВА 11

СВАРКА, РЕЗКА И ПАЙКА МЕТАЛЛОВ

В современной технологии машиностроения сварка, резка и пайка металлов занимают важное место.

52. СУЩНОСТЬ, НАЗНАЧЕНИЕ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ВИДЫ СВАРКИ

С помощью сварки соединяют металлы, сплавы и неметаллические материалы.

Сварка имеет высокие технико-экономические показатели и нашла широкое применение во всех отраслях

промышленности. Сваркой получают прочные соединения элементов металлических конструкций любой формы при толщине металла от 0,1 до 250 мм и более. Сварные конструкции обычно на 10—15% легче клепаных и на 30—40% легче литых, что приводит к значительной экономии металлов. При сварке также экономится время, рабочая сила и стоимость изготовления сварных конструкций. Проектирование и конструирование сварных конструкций упрощается по сравнению с литыми или коваными.

Применяемые в сварочном производстве методы сварки по способу соединения поверхностей заготовок можно разделить на сварку плавлением и сварку давлением. Согласно ГОСТ 2601—74 и ГОСТ 19521—74, к сварке плавлением относятся электродуговая, электрошлаковая, газовая, электронно-лучевая, плазменная; к сварке давлением — газопрессовая, термитная, контактная, звуковая, диффузионная, трением, взрывом и др. При сварке плавлением про кромок свариваемых заготовок получается качественный шов, в заварочной ванне получается сплав. После затвердевания сварочной ванны получается соединение. При сварке давлением соединяемые поверхности за счет совместной пластичности соединяются за счет усилия. Для снижения сопротивления в зоне соединения, как правило, нагревают с целью повышения его пластичности. По виду энергии, применяемой при сварке, она может быть электрической (все виды дуговой сварки, электрошлаковая и т. д.), химической (газовая) и механической (трением, холодная).

53. СВАРКА ПЛАВЛЕНИЕМ И ДАВЛЕНИЕМ. ХОЛОДНАЯ СВАРКА

Сварка плавлением. Из всех существующих способов сварки наиболее распространенной является дуговая электросварка, при которой для местного расплавления свариваемых деталей используется тепловой эффект электрической дуги, возбужденной между электродом и свариваемым изделием.

Русские изобретатели разработали и применили способы дуговой сварки угольным (Н. Н. Бенардос) и металлическим (Н. Г. Славянов) электродами. Электрической дугой свариваются почти все конструкционные стали, медь, алюминий, титан, никель и их сплавы, серый и ковкий чугун. Сварка может производиться на постоянном и переменном токе. Для питания дуги постоянным током применяют электросварочные генераторы постоянного тока. При сварке переменным током применяются сварочные трансформаторы, они понижают напряжение заводской сети с 220 и 380 до 55 и 65 В.

При ведении дуговой сварки применяются электродержатель, щиток и шлем для защиты глаз и лица сварщика от действия лучей электрической дуги и брызг. Угольные электроды применяются для сварки сплавов цветных металлов, наплавки твердых сплавов, сварки малой толщины на постоянном токе. Металлические электроды изготавливаются в виде прутков или в виде мотков проволоки (для автоматической сварки). Для ручной сварки применяют обмазанные электроды, которые делятся на тонкообмазанные (для создания устойчивости дуги) и толстообмазанные, которые помимо создания устойчивой дуги защищают расплавленный металл от окисления и насыщения азотом воздуха, а также легируют шов различными элементами, обеспечивающими прочность сварного соединения.

Техника дуговой сварки. Применяются различные виды соединений свариваемых частей. На рис. 30 показаны наиболее распространенные сварные соединения (ГОСТ 2601—74). Поверхности свариваемых частей перед сваркой должны быть тщательно очищены от грязи, окислов. Для увеличения производительности ручной дуговой сварки применяется сварка пучком электродов и сварка трехфазной дугой, которая по сравнению с однофазной сваркой дает увеличение производительности в два-три раза и экономию электроэнергии до 25%.

Для защиты наплавленного металла от окисления и азотирования при ручной сварке жароупорных, магниевых, алюминиевых сплавов и нержавеющей сталей, а также для получения сварного соединения с высокой коррозионной стойкостью сварку производят в среде нейтральных газов (аргона, гелия).

Газовая сварка. В отличие от электродуговой при газовой сварке для местного расплавления свариваемых металлических частей и добавочно вводимого присадочного материала используется тепло, образующееся

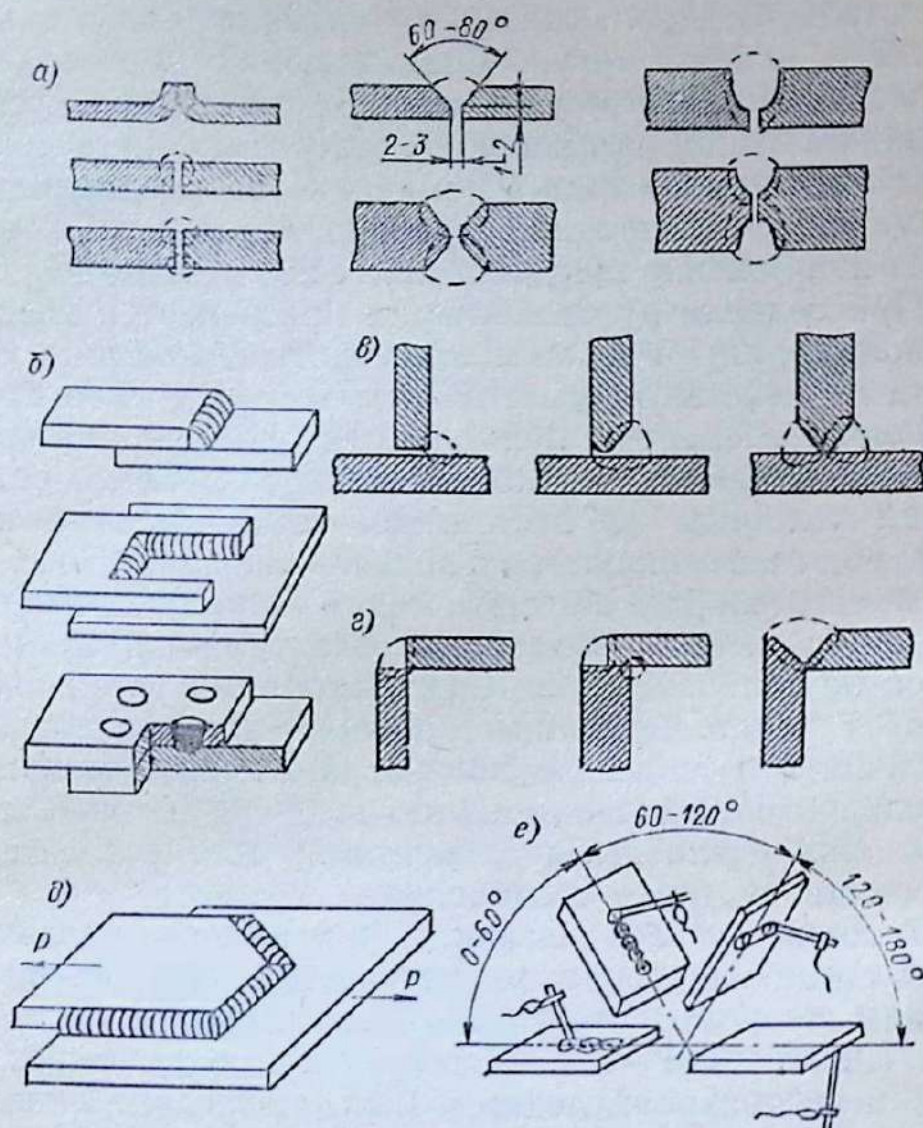


Рис. 30. Сварные соединения: а — виды сварных соединений и швов встык; б, в, г — соединения внахлестку, тавровые и угловые соответственно; д — типы швов, различаемые по направлению действующих на них усилий P ; е — типы швов в зависимости от положения деталей

при сгорании горючих газов в кислороде с температурой пламени $3100-3300^{\circ}\text{C}$. В качестве горючего газа в основном применяется ацетилен, дающий наиболее высокую температуру пламени и большое количество теплоты. Ацетилен — бесцветный газ; кислород — газ без цвета и запаха, добываемый для промышленных це-

лей из воздуха или воды. Кислород хранится и транспортируется в газообразном виде в специальных стальных баллонах под первоначальным давлением 15 МПа. Ацетиленовые баллоны также изготавливаются из стали и заполняются ацетиленом до давления 1,5—1,6 МПа. Баллоны снабжены запорными вентилями. Для понижения и регулирования давления кислорода и ацетилена применяются редукторы, снабженные манометрами. Для образования газосварочного пламени служат сварочные горелки.

Газовая сварка чугуна применяется при заварке раковин, трещин в отливках ответственного назначения и при ремонтных работах. Газовой сваркой выполняются такие же виды сварных соединений, как и электродуговой сваркой.

Газовая сварка давлением (газопрессовая сварка) является такой разновидностью газовой сварки, при которой для местного нагрева соединяемых в пластическом состоянии двух металлических частей используется тепло горючих газов в смеси с кислородом, а соединение свариваемых деталей происходит с помощью сдавливающего механического усилия, производимого специальной сварочной машиной. Широко применяется при соединении, например, магистральных газонефтепроводов, деталей общего машиностроения.

Плазменная сварка и резка металлов. При плазменной сварке основным источником для нагрева и расплавления металлов является плазма, т. е. смесь электрически нейтральных молекул газа и электрически заряженных частиц — электронов и положительных ионов. Плазменной струей можно производить сварку, резку, пайку, напыление, термообработку различных металлов и сплавов, обрабатывать неметаллические материалы (керамику, стекло). Температура плазмы может достигать до 20 000—30 000° С. Для сварки металлов особо малых толщин, мелких и мельчайших деталей применяется микроплазменная сварка или сварка игольчатой дугой (струя плазмы диаметром 1,5—2 мм заканчивается острием).

Электронно-лучевая сварка. Нагрев металла при этом способе осуществляется потоком лучей быстро движущихся электронов, ускоряемых электрическим полем. Падая на поверхность изделия, электроны отдают

свою кинетическую энергию, превращающуюся в тепловую, и нагревают металл до температуры $5000-6000^{\circ}\text{C}$, что достаточно для плавления металлов при сварке и для их тепловой обработки (резки, сверления, испарения).

Процесс обычно ведется в герметически закрытой камере с высоким вакуумом ($133 \cdot 10^{-4} - 133 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$), необходимым для свободного движения электронов и обеспечения чистоты наплавленного металла.

Генератор электронного луча называют электронной пушкой. Электронным лучом можно сваривать заготовки толщиной от 0,01 мм до 100 мм и более, а также тугоплавкие и разнородные металлы.

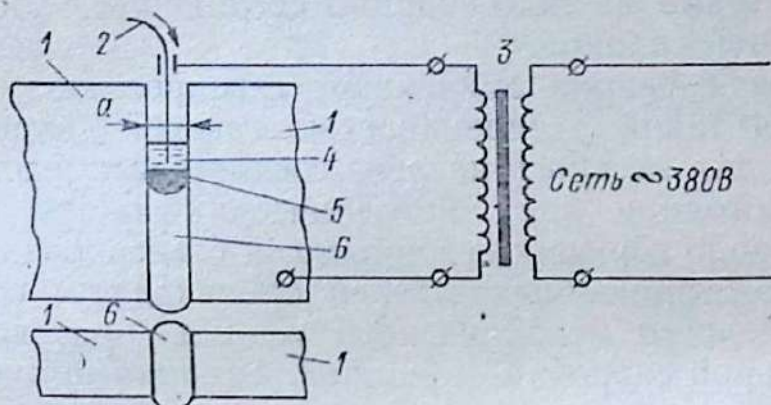


Рис. 31. Схема электрошлаковой сварки

Лазерная сварка. В качестве источника теплоты при сварке лазером используется мощный, концентрированный световой луч (лазер), получаемый в специальной установке, являющийся тепловым источником с высокой плотностью энергии — до $10^7 - 10^8 \text{ Вт/см}^2$. Лазером можно обрабатывать материалы в любой среде, проводящей свет (воздух, вакуум, инертные газы). Луч лазера применяется в приборостроении при сварке малогабаритных деталей, толщина которых ограничивается десятками долями миллиметра. Световая мощность лазера достаточна для расплавления и доведения до кипения любых металлов.

Электрошлаковая сварка под слоем флюса. При этом способе (рис. 31) между установленными вертикально свариваемыми частями создается большой зазор ($a = 30-50 \text{ мм}$), в который засыпается слой специального флюса толщиной 50—70 мм. При пропуске

нии через флюс тока от специального трансформатора 3 флюс расплавляется и образует между свариваемыми частями 1 шлаковую ванну 4, обладающую большим электрическим сопротивлением, вследствие чего ток, проходя через расплавленный флюс, выделяет большое количество теплоты. Расплавленный флюс шлаковой ванны, нагретой до температуры около 2000°C , соприкасаясь с боковыми поверхностями свариваемых частей 1, оплавляет их и одновременно расплавляет присаживаемую в шлаковую ванну электродную проволоку 2. Под шлаковой ванной создается металлическая ванна 5, которая по мере остывания металла отвердевает, образуя прочный сварной шов 6, соединяющий свариваемые части. Этим способом можно сваривать за один проход стали разных марок практически неограниченной толщины.

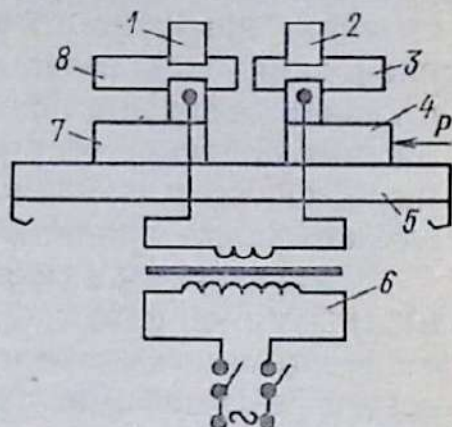


Рис. 32. Схема стыковой сварки:

1, 2 — зажимы; 3, 8 — свариваемые детали; 4, 7 — суппорты; 5 — ванна; 6 — сварочный трансформатор

Сварка с применением давления. При контактной сварке металл нагревается проходящим через него электрическим током. После достижения необходимой температуры к свариваемым частям прикладывается усилие P . Контактная электросварка широко применяется в серийном и массовом производстве для соединения деталей из сталей различных марок и сплавов цветных металлов. Чаще применяются три вида контактной сварки: стыковая, точечная и роликовая. При стыковой сварке (рис. 32) соединение свариваемых металлических изделий происходит по всей поверхности их соприкосновения. Сварку производят на сварочных машинах ручного или автоматического действия.

При точечной сварке изделия свариваются в отдельных точках. Она широко применяется при массовом и крупносерийном производстве. Роликовая сварка осуществляется по линии качения роликов. При прохождении тока через ролики в месте соприкосновения

свариваемых частей выделяется теплота, за счет которой и происходит сварка.

Диффузионная сварка. Эту сварку применяют главным образом для соединения материалов, которые обычными методами сварки соединить трудно или невозможно, например: сталь с ниобием, титаном, чугуном, вольфрамом, металлокерамикой, золото с бронзой, металлы со стеклом, графитом. При сварке происходит взаимная диффузия атомов в поверхностных слоях контактирующих материалов, находящихся в твердом состоянии, нагретых до температуры ниже температуры плавления металлов. Необходимое для увеличения площади действительного контакта поверхностей сжимающее давление обеспечивается механическими, пневматическими и другими устройствами. В большинстве случаев диффузионная сварка проводится в вакууме.

Ультразвуковая сварка. Подлежащие сварке поверхности обезжиривают, сжимают в месте сварки и затем с помощью специального инструмента подводят ультразвуковые колебания частотой 15—70 кГц. Вследствие трения одной поверхности о другую в плоскости контакта выделяется теплота, металл пластически деформируется и при сближении поверхностей на расстояние действия межатомных сил между ними возникает прочная связь.

Прочность ультразвуковой сварки выше прочности точечной контактной сварки. Сварка выполняется с помощью специальных установок; продолжительность сварки 1—3 с.

Сварка взрывом. Сущность способа заключается в использовании энергии взрыва, осуществляемого применением взрывчатки. На соединяемые поверхности мгновенно действует образующаяся при взрыве упругая ударная волна, под действием которой происходит соударение свариваемых частей и их прочное соединение. Этим способом сваривают и разнородные металлы, например, медь со сталью, никель со сталью, медь с алюминием, титан с ниобием и другие трудно поддающиеся обычной сварке металлы. Полученную взрывом заготовку можно прокатать в листовой биметалл.

Сварка трением. При сварке трением свариваемые заготовки соприкасаются друг с другом торцами, одной из них придается вращение. Выделяющаяся при тре-

нии теплота нагревает торцы до пластического состояния, вращение прекращается, заготовки сдавливаются и происходит сварка. Этим методом чаще всего сваривают цилиндрические заготовки.

Термитная сварка. Термитная сварка осуществляется путем нагрева и расплавления свариваемых металлов теплом термитов — порошкообразных горящих смесей металлов с окислами металлов, главным образом алюминиевого термита (смеси 22% алюминия и 78% железной окалины). В связи с низкой производительностью процесса и дефицитностью алюминия термитная сварка применяется в ограниченных размерах, в основном для сварки рельсовых стыков трамвайных путей. Магнийтермит (смесь порошкообразного магния и железной окалины) применяется для сварки стальных телеграфных и телефонных проводов связи.

Индукционная сварка. Металл нагревается пропусканием через него токов высокой частоты от ламповых или машинных генераторов и сдавливается. Этот способ широко применяется для сваривания шовных труб на непрерывных станах.

Горновая или кузнечная сварка. Занимает ведущее положение при производстве сварных, газовых труб диаметром до 100 мм для водопроводных и газовых сетей. Полосы стали нагревают в печах; нагретая полоса со свертышем на конце пропускается через волоочильную оправку. Происходит свертывание полосы в трубу и заварка продольного шва.

Конденсаторная сварка. Для этой сварки используют энергию, накапливаемую в конденсаторах при их зарядке от источника постоянного напряжения (генератора или выпрямителя). Энергия преобразуется в процессе разрядки в теплоту, используемую при сварке заготовок. Существует два вида конденсаторной сварки: бестрансформаторная — с разрядкой конденсаторов на свариваемые детали в момент их соприкосновения и трансформаторная — с разрядкой конденсаторов на первичную обмотку сварочного трансформатора, во вторичной цепи которого находятся предварительно сжатые свариваемые заготовки. Применяется главным образом при сварке деталей малых толщин (до 1 мм) — часовых механизмов, фотоаппаратов и т. п.

Холодная сварка. Эта сварка осуществляется давлением без нагрева, путем пластического деформирования металлов в местах сварки. Применяется для соединения металлов, обладающих достаточной пластичностью, например алюминия, меди, дюралюминия. Прочное, неразъемное соединение образуется в результате сближения свариваемых поверхностей до образования металлических связей между ними при приложении больших удельных давлений. При этом происходит разрыв пленки окислов на свариваемых поверхностях и образование чистых поверхностей металла. Холодной сваркой могут быть выполнены точечные, шовные и стыковые соединения (например, соединение проволок и шин встык, сварку полых деталей по контуру, листов в нахлестку). Способ высокопроизводителен и легко поддается автоматизации.

54. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СПОСОБОВ СВАРКИ

В зависимости от способа подачи присадочного материала и флюсов к месту сварки, степени осадки свариваемых деталей и управления источником тепла различают ручную, полуавтоматическую и автоматическую сварку.

Применение автоматической и полуавтоматической дуговой сварки обеспечивает более стабильное качество сварного шва и высокую производительность процесса.

При автоматической дуговой сварке механизмируются управление дугой и подача материала. Ее целесообразно применять при массовом или крупносерийном производстве однородных деталей. Автоматическая сварка голым электродом под гранулированным флюсом по сравнению с ручной сваркой имеет преимущества: более высокую производительность (в 5—10 раз); более однородное и высокое качество наплавленного металла; экономию электроэнергии за счет лучшего использования теплоты дуги; отсутствие надобности в защитных приспособлениях для сварщика (дуга горит под слоем флюса).

Аппарат для дуговой сварки (рис. 33) состоит из источника питания (электросварочного генератора или трансформатора), автоматической сварочной головки,

бункера для подачи флюса и каретки. Возбуждаемая дуга горит между кольцом голой электродной проволоки и свариваемой деталью под слоем гранулированного флюса. Автоматически действующая сварочная головка подает в сварочную зону электродную проволоку. В подготовленный шов насыпается гранулированный флюс, поступающий по шлангу из бункера. Сварной шов образуется перемещением сварочной головки или изделия при помощи особого механизма подачи. Неиспользованные при сварке остатки флюса отсасываются обратно в бункер. Флюсы обеспечивают защиту металла от кислорода и азота воздуха, раскисляют и легируют металл. Сварка производится со скоростью 6—32 м/ч под слоем флюса.

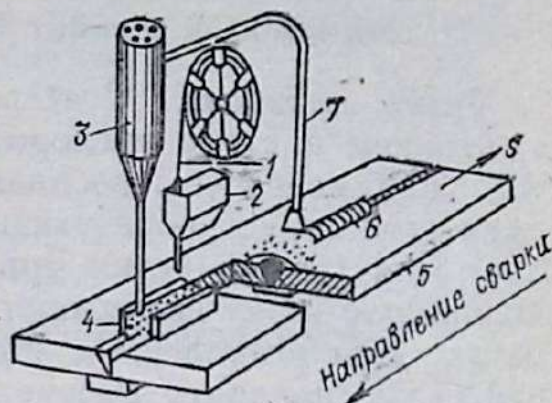


Рис. 33. Схема дугосварочной автоматической установки для электрической сварки под слоем флюса: 1 — электрод (проволока); 2 — механизм подачи электрода; 3 — бункер для флюса; 4 — флюс; 5 — свариваемая деталь; 6 — шов; 7 — отсос неиспользованного флюса

Полуавтоматическая сварка выполняется по той же схеме, но подача осуществляется сварщиком вручную вдоль выполняемого шва. При диффузионной сварке

кроме установок для индивидуального производства с ручным управлением для серийного и поточно-массового производства применяются установки с полуавтоматическим или автоматическим программным управлением.

Для образования сварного соединения не требуются электроды, припой, флюсы и другие вспомогательные материалы.

Применяются различные автоматизированные способы и автоматические установки для контактной и других видов сварки. Предусмотрено дальнейшее развитие комплексной автоматизации и механизации сварочного производства.

Контроль качества сварных соединений и конструкций проводится разрушающими и неразрушающими

методами. К разрушающим методам относятся технологические пробы, механические испытания на твердость, ударную вязкость, изгиб, металлографические исследования, химический анализ, испытания на свариваемость, коррозионные испытания. К неразрушающим — гидравлические, испытания на плотность и прочность сосудов, резервуаров, трубопроводов; пневматические, испытания керосином, магнитная, рентгено- и гамма-дефектоскопия, ультразвуковой метод.

55. ПОНЯТИЕ О РЕЗКЕ И ПАЙКЕ МЕТАЛЛОВ

Резка металлов. Огневая резка осуществляется сжиганием в струе кислорода, предварительно нагретого до температуры воспламенения металла, и удалением этой струей образующихся расплавленных окислов. Для ручной резки применяется резак типа УР. Машинную резку выполняют на автоматах и полуавтоматах. Для металлов, не поддающихся обычной газовой резке, например высокохромистых и хромоникелевых сталей, чугуна, меди, бронзы, применяют кислородно-флюсовую резку.

Дуговая электрическая резка применяется для грубой резки металлов, например на строительных объектах. Ее разновидностью является воздушно-дуговая резка. Дуговую электрическую резку можно производить под водой.

Пайка металлов. Пайкой называют способ образования неразъемного соединения деталей с помощью специальных металлов-припоев. Процесс пайки состоит во введении расплавленного припоя в поверхностный слой соединяемых частей в месте их соприкосновения. Соединение частей основного металла происходит вследствие взаимной диффузии между расплавленным припоем и предварительно нагретым основным металлом.

Перед пайкой соединяемые поверхности подвергают химической очистке с помощью флюсов. Флюсы служат также и для защиты от окисления кислородом воздуха или пламенем. Пайка применяется для соединения углеродистых и легированных сталей всех марок, цветных металлов и их сплавов, твердых сплавов и разнородных металлов, а также металлов с неметаллическими

материалами. При низкотемпературной пайке используют припой с температурой плавления ниже 400°C — оловянносвинцовистые (ПОС), легкоплавкие и специальные. При высокотемпературной пайке применяют припой с температурой плавления выше 400°C — медноцинковые, серебряные и другие. Нагрев при пайке производят паяльниками, газовыми горелками, электрическим током (электродуговая, индукционная пайка и пайка сопротивлением). Применяют также пайку в печах и пайку погружением в расплавленный припой или в расплавленную соль. Пайка алюминия осуществляется с применением ультразвука.

ГЛАВА 12

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Несмотря на все возрастающее внедрение в машиностроении методов получения точных заготовок, приближающихся по своим формам и размерам к формам и размерам готовых деталей, обработка металлов резанием в настоящее время является и еще, по-видимому, долгое время будет оставаться основным методом окончательной обработки деталей. Объясняется это, в первую очередь, тем, что общий прогресс в машиностроении и интенсификация технологических процессов во всех областях промышленности требуют изготовления все более точных и обработанных с высокой степенью качества поверхности деталей машин, а точные детали с поверхностями 5—7-го классов шероховатости могут быть в основном получены обработкой металлов резанием.

56. ОСНОВЫ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

До начала обработки резанием будущую деталь принято называть черной заготовкой, в процессе обработки эта заготовка именуется обрабатываемой деталью; по окончании всех видов обработок получается готовая деталь, которая может быть передана на сборку изделия.

Слой металла, который необходимо удалить с заготовки для получения детали в окончательно обработанном виде, называется припуском на обработку. Для уменьшения расхода металла и сокращения затрат на механическую обработку припуск должен быть минимальным, но достаточным для осуществления наиболее экономичного технологического процесса. Удаление с заготовки припуска ручным способом называется слесарной обработкой, а снятие припуска на станках — механической обработкой.

Виды стружек. В зависимости от силы сцепления отдельных элементов различают три вида стружки: сливную, скалывания и надлома. Вязкие металлы (мягкая сталь, медь, алюминий) образуют сливные стружки, которые сходят в виде непрерывной ленты, завивающейся в спираль. При обработке менее вязких металлов (например, стали повышенной твердости, некоторые марки латуни) образуется стружка скалывания. Стружка надлома получается при обработке хрупких металлов (чугун, бронза) и неметаллических материалов (мрамор, стекло, камень).

Поверхности обрабатываемой детали. При любом методе механической обработки детали различают три основных вида поверхностей.

Обрабатываемая поверхность 1 (рис. 34, а) — это поверхность, срезаемая с обрабатываемой детали за данный проход. Она исчезает по окончании прохода. *Обработанная поверхность 3* определяется как поверхность, полученная в результате снятия слоя материала с обрабатываемой детали за один проход. Эта поверхность отсутствует до начала прохода. *Поверхностью резания 2* называется поверхность, непосредственно образованная на обрабатываемой детали главным лезвием инструмента.

Геометрия режущего инструмента. Принцип работы любого режущего инструмента основан на действии клина. Наиболее наглядно можно рассмотреть элементы и геометрию режущего инструмента на примере токарного резца. Последний состоит из головки (рис. 34, б), которая принимает непосредственное участие в отделении срезаемого слоя металла, подошвы, на которую опирается резец при установке его на станке, и тела, с помощью которого производится закрепление резца

в резцедержателе. Основными элементами головки резца являются: передняя поверхность 9, по которой сходит стружка, главная задняя поверхность 5, обращенная к поверхности резания, вспомогательная задняя поверхность 6, обращенная к обработанной поверхности, главное лезвие 4, являющееся пересечением передней и главной задней поверхностей, вспомогатель-

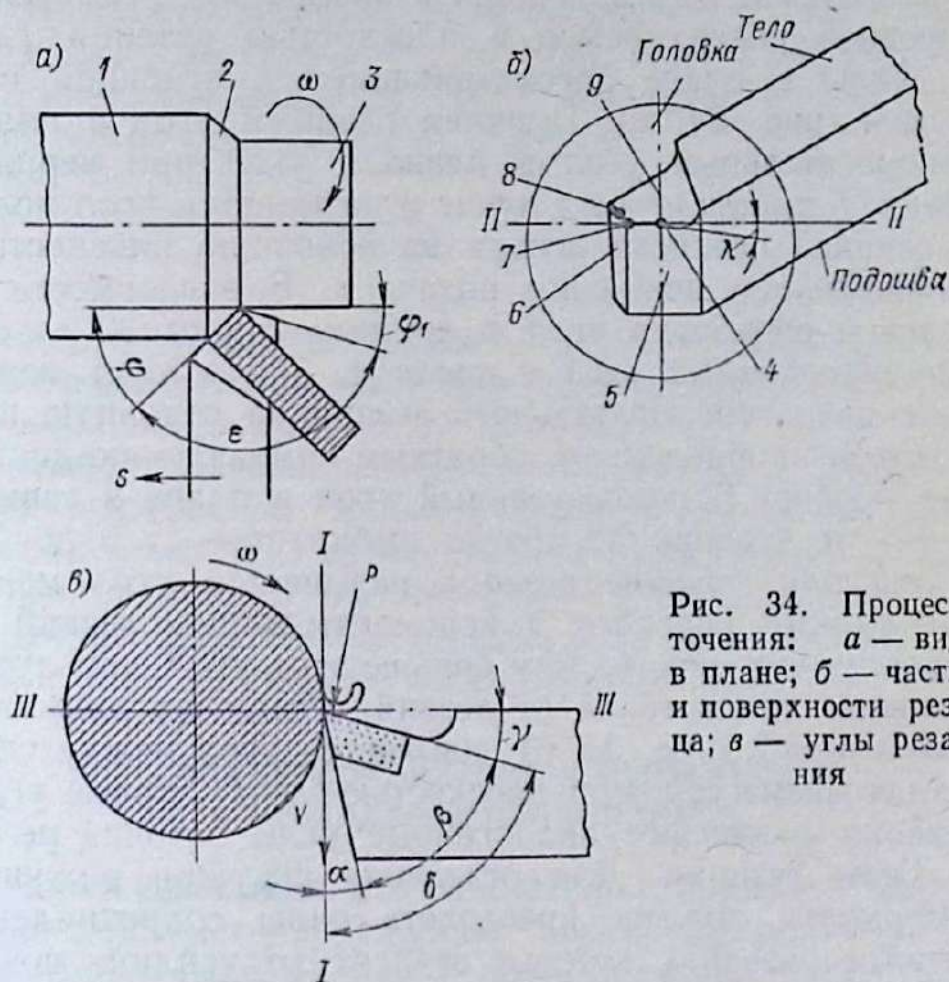


Рис. 34. Процесс точения: а — вид в плане; б — части и поверхности резца; в — углы резания

ное лезвие 8, являющееся пересечением передней и вспомогательной задней поверхностей, и вершина 7, образованная пересечением лезвий.

Углы режущей части инструмента. Различают главные и вспомогательные углы, а также углы в плане. Главные углы измеряются в главной секущей плоскости (рис. 34, в). К ним относятся: главный задний угол, угол заострения, главный передний угол и угол резания.

Главным задним углом α называется угол, образованный главной задней поверхностью инструмента

и плоскостью резания $I—I$. Этот угол необходим для уменьшения трения между обрабатываемой деталью и резцом. Угол α равен $6—12^\circ$. Главным передним углом γ называется угол между передней поверхностью и нормальной плоскостью $III—III$. Значение угла γ колеблется в пределах от $+25$ до -10° . Углом заострения β называется угол между передней и главной задней поверхностями. Углом резания δ называется угол между передней поверхностью и плоскостью резания $I—I$.

Углы в плане рассматриваются в основной плоскости (рис. 34, а). Имеются главный угол в плане, вспомогательный угол в плане и угол при вершине резца. Главным углом в плане ϕ называется угол между проекцией главного лезвия на основную плоскость и направлением движения подачи s . В зависимости от условий обработки угол ϕ принимается от 30 до 90° . Вспомогательный угол в плане ϕ_1 — это угол между проекцией вспомогательного лезвия на основную плоскость и направлением, обратным направлению движения подачи. Вспомогательный угол в плане в зависимости от условий обработки выбирается от 0 до 30° . Углом при вершине резца ϵ называется угол между проекциями главного и вспомогательного лезвий на основную плоскость. Чем больше этот угол, тем лучше условия отвода тепла от лезвий. Углом наклона главного лезвия λ (рис. 34, б) называется угол между главным лезвием и основной плоскостью $II—II$. Кроме углов резания различают аналогичные углы заточки резца.

Силы резания. Для отделения стружки режущий инструмент должен преодолеть силы сопротивления металла резанию, которые зависят от усилий, возникающих при деформировании и отделении срезаемого слоя, и сил трения стружки о переднюю поверхность и обрабатываемой детали о заднюю поверхность режущего инструмента. Равнодействующую всех сил сопротивления P (рис. 34, в) принято называть силой сопротивления резанию или силой резания.

Знание сил резания необходимо для производства расчетов на жесткость и прочность инструментов, приспособлений и станков, а также для определения потребляемой мощности на резание.

Скорость резания. Скоростью резания v (рис. 34, в) называется линейная скорость перемещения точки по-

верхности резания относительно главного лезвия инструмента. Для станков с вращательным движением скорость резания (м/мин) определяется по формуле

$$v = \pi D n / 1000,$$

где D — максимальный диаметр поверхности резания, мм; n — частота вращения детали, об/мин.

Мощность резания. Зная скорость резания и силу резания с достаточной для практики точностью, эффективностью мощность (кВт), затрачиваемую на резание, можно определить по формуле

$$N_p = \frac{P_z v}{60 \cdot 102}.$$

Для того чтобы узнать, какая мощность затрачивается электродвигателем (N_d) для осуществления процесса резания, надо учесть к. п. д. станка η .

Выбор режимов резания. Определение по формулам силы резания, оптимальной скорости резания и эффективной мощности, затрачиваемой на резание, занимает много времени и относительно сложно. Поэтому эти величины практически определяются по таблицам, приведенным в соответствующих справочниках.

57. КЛАССИФИКАЦИЯ И НУМЕРАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Классификация. В соответствии с принятой классификацией металлорежущие станки разделяются по характеру выполняемых работ и виду применяемых режущих инструментов на группы. Последние подразделяются на типы и типоразмеры. Деление станков на типы производится по различным признакам, основными из которых являются: технологическое назначение станка, расположение главных рабочих органов в пространстве, количество главных рабочих органов станка, степень автоматизации, конструктивные особенности.

Кроме того, металлорежущие станки классифицируются по степени специализации на универсальные, специализированные и специальные; по массе и размерам — на обычные, крупные, тяжелые и уникальные;

по точности — на станки нормальной точности, повышенной точности и прецизионные.

Нумерация. В СССР принята единая система условных обозначений станков, основанная на присвоении каждой модели станка шифра (номера). Все станки делятся на 10 групп, каждая группа подразделяется на 10 типов и каждый тип — на 10 типоразмеров. Номер, присваиваемый каждой модели станка, может состоять из трех или четырех цифр и букв.

Первая цифра номера показывает группу, к которой относится данный станок. Вторая цифра указывает на тип станка в данной группе. Третья или третья и четвертая цифры совместно указывают условный размер станка.

Для того чтобы обозначить конструктивное исполнение станков одного и того же размера, но с различной технической характеристикой, между цифрами вводится буква.

Буквы, расположенные в конце номера, означают выпуск станков различных модификаций одной и той же базовой модели.

58. ОБРАБОТКА НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

Основные узлы токарно-винторезного станка. Современный токарно-винторезный станок модели 16К20 (рис. 35) состоит из станины 6, основания 8, передней бабки 3 с коробкой скоростей, гитары сменных колес 1, коробки подач 2, фартука 9, суппорта 4, задней бабки 5, привода 7 быстрых перемещений, органов управления и систем охлаждения и смазки.

Станина 6 является основной несущей деталью, на которой монтируются все узлы станка; одновременно она служит для направления перемещения продольных салазок суппорта и задней бабки вдоль оси станка. *Коробка скоростей* служит для изменения частоты вращения шпинделя. У быстроходных токарных станков для уменьшения вибраций коробка скоростей выполнена в виде отдельного узла и размещена в передней тумбе совместно с приводом электродвигателя.

Гитара сменных колес 1 служит для передачи вращения от передней бабки к коробке подач и для изменения передаточного отношения этой передачи в целях

обеспечения нарезания всех типов резьб. *Коробка подач 2* предназначена для изменения продольных и поперечных подач суппорта. В токарно-винторезном станке коробка подач осуществляет также установку нужного шага при нарезании резьбы и передачу движения либо ходовому винту, либо ходовому валику. Первый используется при нарезании резьбы резцом, второй — для обточки

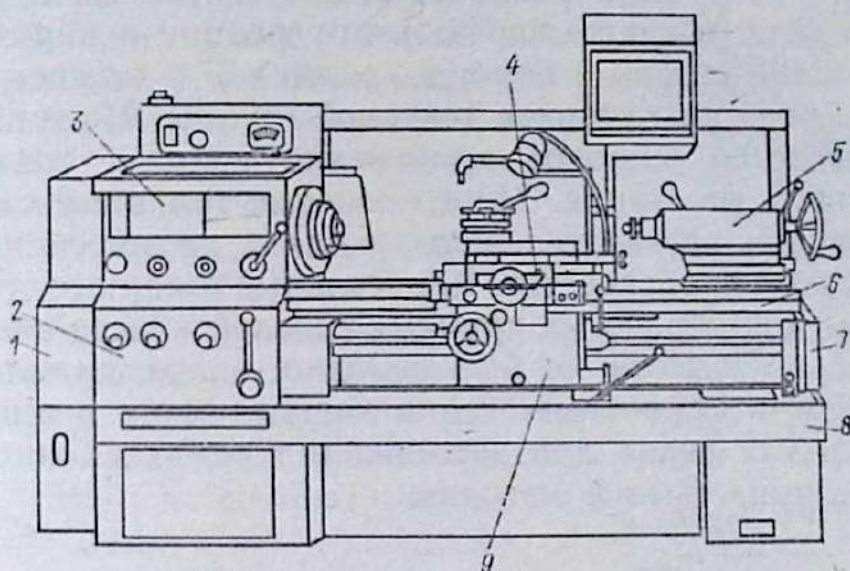


Рис. 35. Токарно-винторезный станок

Фартук 9 служит для размещения разъемной маточной гайки ходового винта и механизма подач, который передает вращение от ходового валика и одновременно преобразует вращательное движение в прямолинейное поступательное движение суппорта либо в продольном, либо в поперечном направлении. *Суппорт 4* обеспечивает возможность механического перемещения резца в продольном и поперечном направлениях и движения его под любым углом к оси шпинделя. *Задняя бабка 5* выполняет функцию второй опоры при обработке длинных деталей в центрах. В то же время она используется для закрепления и подачи инструмента при обработке отверстий сверлами, зенкерами, развертками и при нарезании резьбы метчиками и плашками.

Работы, выполняемые на токарных станках. Токарные станки являются наиболее универсальными из всех видов металлорежущего оборудования. На них можно производить самые разнообразные работы: обтачивать и

расточивать цилиндрические, конические и фасонные поверхности вращения, подрезать торцы и соответственно обрабатывать плоскости, прорезать канавки различного профиля, производить отрезание, нарезать резцом крепежные и ходовые резьбы любого профиля. Кроме того, на токарных станках с помощью инструментов, устанавливаемых в пиноли задней бабки, можно производить сверление, зенкерование и развертывание отверстий, расположенных соосно со шпинделем станка, а также нарезать внутренние и наружные крепежные резьбы с помощью метчиков и плашек.

Прочие типы станков токарной группы. В серийном производстве широкое применение находят токарно-револьверные станки. Многорезцовые токарные станки и токарные автоматы используются в крупносерийном и массовом производстве. Карусельные токарные станки служат для обработки крупных деталей класса дисков, у которых высота не больше одного-двух диаметров. Токарно-затыловочные станки используются в инструментальных цехах для затылования режущих инструментов типа фрез и метчиков.

59. ОБРАБОТКА НА СВЕРЛИЛЬНЫХ И РАСТОЧНЫХ СТАНКАХ

Большинство деталей машин и механизмов имеет круглые отверстия — неточные (крепежные) и точные (посадочные). Отверстия бывают сквозные и глухие, цилиндрические, конические и резьбовые. Особое место занимают глубокие отверстия, в которых длина в 10 раз и более превышает диаметр. Станки сверлильной группы предназначены для обработки всех типов круглых отверстий.

Вертикально-сверлильные станки. Вертикально-сверлильный станок современной конструкции (рис. 36) состоит из основания 1, колонны 6, коробки скоростей 5, направляющего кронштейна 4, в котором смонтированы механизм подачи и шпиндельный узел 3, стола 2 и противовеса, расположенного внутри колонны. Коробка скоростей с электродвигателем монтируется на верхней части колонны, установленной на основании. Основание делается пустотелым и является одновременно баком для сбора охлаждающей жидкости. Направляющий кронштейн со шпиндельным узлом и стол могут

перемещаться по направляющим колонны и закрепляться в нужном положении, в соответствии с размерами обрабатываемой детали.

В вертикально-сверлильных станках движение резания и движение подачи получает шпиндель с режущим инструментом. Для совмещения оси шпинделя с осью обрабатываемого отверстия необходимо вручную перемещать обрабатываемую деталь на столе станка. Вследствие этого вертикально-сверлильные станки успешно применяются только для обработки сравнительно легких и компактных деталей.

Работы, выполняемые на сверлильных и расточных станках. Для получения отверстий по 12-му качеству СТ СЭВ в сплошном материале применяют операцию сверления. Для обработки отверстий диаметром до 50—80 мм используют спиральные сверла, а для изготовления отверстий больших размеров применяют пустотелые кольцевые сверла. Точные отверстия до 7-го качества СТ СЭВ включительно обрабатывают последовательно тремя инструментами: сверлом, зенкером и разверткой. Для получения отверстий по 7-му качеству СТ СЭВ диаметром более 15—18 мм в условиях серийного производства применяют двукратное развертывание. Обработка отверстий под головки винтов, шурупов и заклепок производится зенкерами или зенковками соответствующей конфигурации. Торцы у отверстий обрабатываются цековками (торцовками). Для обработки сквозных резьбовых отверстий применяют одиночные удлиненные метчики. Глухие резьбовые отверстия обрабатываются последовательно наборами

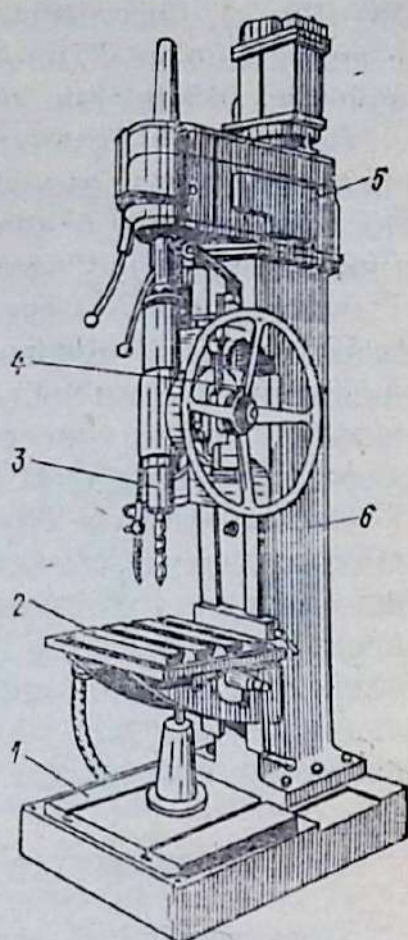


Рис. 36. Вертикально-сверлильный станок

из двух или трех метчиков. Операция растачивания отверстий производится только на расточных станках, сверлильные станки для этой работы не приспособлены.

Растачиванием можно обработать отверстия любых диаметров от 3—5 мм и более. Применяя тонкое растачивание при больших скоростях резания (150—300 м/мин), небольшой глубине резания (0,02—0,1 мм) и малой подаче (0,05—0,1 мм/об), можно получать отверстия с точностью по 5—6-му квалитетам СТ СЭВ.

Прочие типы станков сверлильной группы. Широкое распространение имеют радиально-сверлильные станки. Последние бывают стандартного типа, универсальные и широкоуниверсальные (переносные).

Многошпиндельные сверлильные станки также делятся на типы: рядовые, у которых все шпиндели расположены в один ряд, колокольные и агрегатные, используемые в крупносерийном и главным образом в массовом производствах.

Особое место в группе сверлильных станков занимают расточные станки. Наиболее универсальными из них являются горизонтально-расточные станки. Алмазно-расточные станки предназначены для получения отверстий высокой точности. Координатно-расточные станки служат для обработки точных и строго взаимосвязанных отверстий.

60. ОБРАБОТКА НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

Характер работ, производимых на фрезерных станках, весьма разнообразен. Чаще всего они используются для обработки плоскостей, пазов, канавок; эти станки применяются также для обработки линейных фасонных поверхностей. Специальные виды фрезерных станков приспособлены для обработки сложных фасонных поверхностей.

Основные типы фрез. Слово «фреза» в точном переводе с французского, означает «земляника». Действительно, первые фрезы, имевшие, подобно напильникам, мелкие насеченные зубья и применявшиеся только для фасонных работ, напоминали своим внешним видом землянику. В дальнейшем развитие фрез шло как по линии усовершенствования их конструкции и профиля зубьев, так и по линии их специализации.

Существующее разнообразие типов фрез классифицируют по различным признакам: по назначению, форме зубьев и их направлению, конструкции, методу крепления и т. п. По конструкции фрезы разделяют на цельные, напайные, наборные и со вставными быстросменными зубьями (фрезерные головки). По профилю зубьев

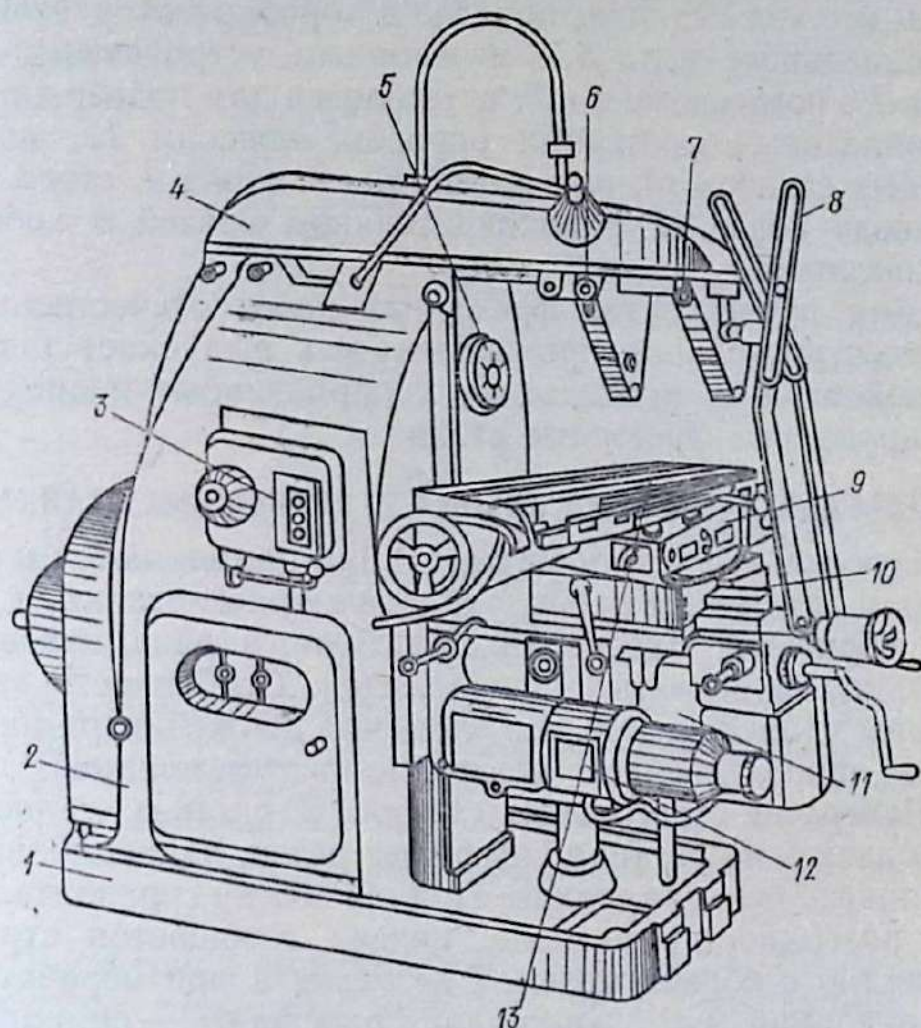


Рис. 37. Универсальный консольно-фрезерный станок

различают фрезы с остроконечными и затылованными зубьями. По направлению зубья могут быть прямые или винтовые. По способу крепления фрезы подразделяются на насадные, хвостовые и торцовые. По назначению фрезы разделяются на следующие основные типы: для обработки плоскостей, прорезные, пазовые, угловые, фасонные, зубонарезные, резьбовые и специальные.

Консольно-фрезерные станки. В зависимости от конструкции консольно-фрезерные станки именуют вер-

тикальными, горизонтальными, универсальными и широкоуниверсальными.

Универсальные консольно-фрезерные станки (рис. 37) состоят из следующих узлов: основания 1, которое одновременно является баком для сбора охлаждающей жидкости, станины 2, на которой смонтированы все узлы станка, привода с коробкой скоростей 3, шпиндельного узла 5 с переборным устройством, хобота 4 с подвесками 6 и 7, служащими для поддержания шпиндельных фрезерных оправок, консоли 11, поперечных салазок 10, поворотной части стола 9, стола 13, привода подач 12 и дополнительных связей 8 хобота с консолью.

Для производства фрезерных работ отечественная станкостроительная промышленность выпускает также бесконсольные, продольные, копировальные и специализированные фрезерные станки.

61. ОБРАБОТКА НА СТРОГАЛЬНЫХ И ДОЛБЕЖНЫХ СТАНКАХ

Строгальные и долбежные станки применяются в основном для тех же работ, что и фрезерные станки, т. е. для обработки плоскостей, различного вида пазов и фасонных линейчатых поверхностей. Особенность этой группы станков состоит в том, что движение резания у них прямолинейное (возвратно-поступательное).

Поперечно-строгальные станки. В станках данного типа движение резания совершает резец, закрепленный в суппорте ползуна станка. При обработке горизонтальной поверхности движение подачи сообщается столу совместно с обрабатываемой деталью, а при обработке вертикальной или наклонной плоскости — суппорту с резцом.

Общий вид современного гидрофицированного поперечно-строгального станка модели 737 показан на рис. 38. Станина 6, внутри которой смонтирован привод 7 движения резания, имеет горизонтальные направляющие, по которым перемещаются ползун 5 и вертикальные направляющие, служащие для передвижения траверсы 8. В передней части ползуна установлен суппорт 4. Стол 3 с установленной на нем обрабатываемой деталью перемещается по направляющим траверсы 8 и поддерживается стойкой 2, установленной на основании 1.

Долбежные станки. Движением резания долбежного станка является вертикальное возвратно-поступательное прямолинейное движение долбяка с резцом. Движение подачи в продольном, поперечном или круговом направлениях получает стол с обрабатываемой деталью. Движение долбяку сообщается либо при помощи механического привода с вращающейся кулисы, либо от гидропривода.

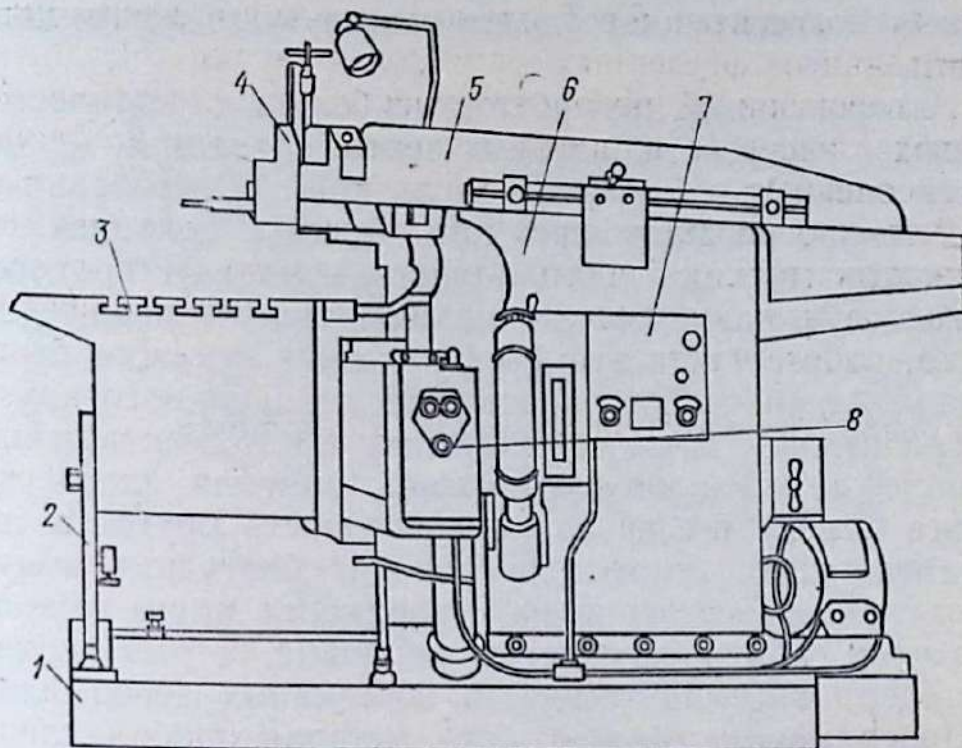


Рис. 38. Поперечно-строгальный станок

Долблением можно обработать глухие и сквозные фасонные отверстия: многогранники, внутренние направляющие, внутренние шпоночные пазы, многошпоночные (шлицевые) отверстия, матрицы сложной конфигурации. Операция долбления в силу своей малой производительности применяется в основном в индивидуальном и мелкосерийном производстве. Аналогичные технологические задачи в крупносерийном и массовом производстве решаются протягиванием.

Продольно-строгальные станки. Этот тип станков служит для обработки крупногабаритных и тяжелых деталей. Станки бывают одностоечные, двухстоечные и кромкострогальные. Наибольшее распространение имеют одностоечные и двухстоечные продольно-стро-

гальные станки. В этих станках движение резания совершает стол с установленной на нем обрабатываемой деталью, а движение подачи сообщается суппортам с резцами.

62. ОБРАБОТКА НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Процесс шлифования. В процессе шлифования в качестве режущего инструмента используют абразивные круги.

Шлифовальный круг состоит из большого количества острых и твердых абразивных зерен, связанных между собой специальной массой — связкой. Шлифовальный круг можно рассматривать как фрезу с большим количеством мелких зубьев. Действительно, в процессе шлифования каждое зерно, находящееся на периферии круга, работает как зуб фрезы, снимая стружки переменного сечения. Особенности шлифовального круга по сравнению с другими режущими инструментами являются, с одной стороны, очень высокая твердость зубьев (зерен), а с другой — способность кругов к самозатачиванию, которое происходит благодаря тому, что затупившиеся зерна на поверхности круга выкрашиваются, а в работу вступают новые острые зерна. Благодаря высокой твердости абразивных зерен шлифованием можно обрабатывать металлы любой твердости, включая твердые сплавы и неметаллические материалы, такие, как стекло, мрамор, камень.

Возможность работы при шлифовании с малыми глубинами порядка 1—2 мкм и, соответственно, с малыми усилиями резания позволяет этим методом легко достигать точности 6-го качества. Шлифование обеспечивает шероховатость обработанной поверхности 7—10-го классов. В соответствии с этими особенностями процесс шлифования применяется для окончательной обработки высокоточных деталей, обработки деталей, к которым предъявляются высокие требования в отношении качества поверхности, обработки деталей после закалки, а в некоторых случаях и для черновых операций при работе по твердой корке. На шлифовальных станках могут быть обработаны все виды наружных и внутренних поверхностей — цилиндрические, конические, торцовые, фасонные и винтовые.

Круглошлифовальные станки. Станки для наружного круглого шлифования бывают стандартные, универсальные, врезные, бесцентровые и специализированные. Стандартный круглошлифовальный станок (рис. 39) предназначен для обработки наружных цилиндрических, пологих конических и торцовых поверхностей. Он состоит из станины 1, стола 2, шлифовальной бабки 4, бабки 3 привода изделия и задней бабки 5. Стол получает от гидропривода, встроенного в станину

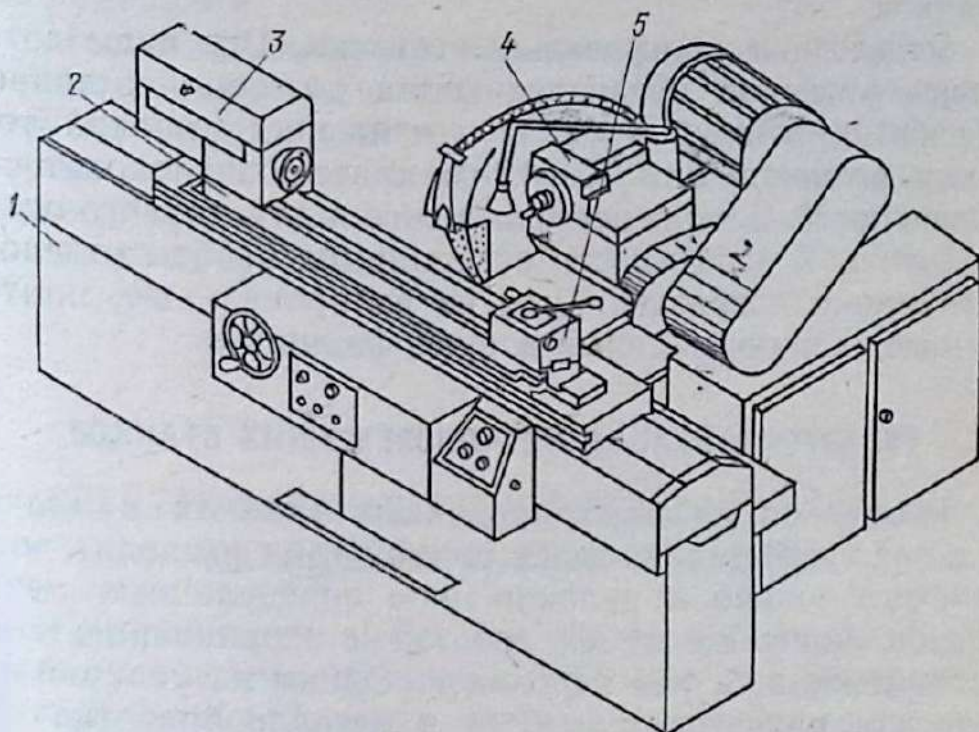


Рис. 39. Круглошлифовальный станок

станка, прямолинейное возвратно-поступательное движение. Привод изделия и привод шлифовального круга осуществляются от отдельных электродвигателей. Шлифовальная бабка перемещается в поперечном (радиальном) направлении как механически, так и вручную. Для шлифования пологих конусов верхняя часть стола совместно с бабками может поворачиваться на $\pm 10^\circ$ по отношению к продольным направляющим станины.

Плоскошлифовальные станки. Плоскошлифовальные станки строятся с прямоугольным или круглым столом. Последние применяются для непрерывного шлифования, обычно в условиях массового производства. Каждый из этих типов плоскошлифовальных стан-

ков, в свою очередь, подразделяется на станки, работающие периферией круга, и станки, работающие торцом круга.

Заточные станки. Особую группу шлифовальных станков представляют заточные станки, которые служат не для обработки деталей, а для заточки различных видов режущих инструментов. Заточные станки выпускаются в виде простейших точил, универсально-заточных станков и специализированных заточных станков.

Отделочные шлифовальные станки. Все виды доводочных станков предназначены для окончательной обработки деталей в целях достижения высокой точности размеров или 10—12-го классов шероховатости поверхности, а чаще всего для того и для другого одновременно. В зависимости от принципа работы отделочные станки подразделяются на полировальные, притирочные, хонинговальные и суперфинишные.

63. АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Работа на автоматизированных станках в значительной степени сокращает ручной труд и сводит роль рабочего только к наладиванию определенных механизмов, контролю за их работой и исправлению этих механизмов в случае неполадок. Одним из условий повышения производительности в металлообработке является увеличение степени автоматизации станков. Станки с высокой степенью автоматизации обычно делят на две группы: автоматы и полуавтоматы. *Автоматами* называют такие станки, у которых все рабочие приемы, за исключением загрузки заготовок на партию деталей и контроля размеров, производятся автоматически. *Полуавтоматами* называют станки, у которых цикл работы также автоматизирован, но рабочий должен устанавливать и снимать каждую заготовку и производить пуск станка и контроль размеров деталей.

Специализированные автоматы и полуавтоматы изготавливают детали с достаточной точностью и обеспечивают высокую производительность при обработке деталей одного вида. Они успешно применяются в массовом и крупносерийном производстве. Но переход на таких станках к обработке другой детали, даже незна-

чительно отличающейся от предыдущей, связан с изготовлением новой оснастки и трудоемкой переналадкой станка.

В станках с числовым программным управлением (ЧПУ) можно без значительных затрат времени и средств изменять программу работы в широких пределах. В станках с программным управлением сочетаются производительность и точность специализированного станка с быстротой переналадки универсального оборудования.

Нашей станкостроительной промышленностью не только изготавливаются высокоавтоматизированные станки, но и строятся автоматические линии, цехи и заводы, в которых много станков соединено таким образом, что детали автоматически проходят на них последовательную обработку.

ГЛАВА 13

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

По сравнению с обычной обработкой металлов резанием, электрическая обработка имеет ряд преимуществ: позволяет обрабатывать детали из материалов с самыми высокими физико-химическими свойствами, обработка которых обычными методами затруднена или совсем невозможна (твердые сплавы, алмаз, кварц); дает возможность обрабатывать самые сложные поверхности (например, отверстия с криволинейной осью, глухие отверстия фасонного профиля).

64. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

К электрофизическим методам обработки металлов и сплавов относят: электроискровой, электроимпульсный, электроконтактнодуговой, анодно-механический и ультразвуковой, а также лучевые способы. Первые четыре способа обработки, называемые в ряде случаев электроэрозионной обработкой токопроводящих металлов и сплавов, основаны на явлении местного разру-

шения металла под действием электрического тока. Ток вводится непосредственно в зону обработки, где он преобразуется в теплоту, выплавливающую частицы обрабатываемого металла.

Электроискровая обработка основана на использовании кратковременных искровых разрядов. Сущность электроискрового метода состоит в том, что металл заготовки под действием электрических искровых разрядов разрушается, т. е. происходит так называемая электрическая эрозия и благодаря этому выполняется заданная обработка. Процесс осуществляется на специальном станке в баке (ванне), наполненном керосином или маслом.

Электроимпульсная обработка основана на использовании разрядов, возникающих между поверхностями инструмента и заготовки. Заготовка является катодом, а инструмент — анодом. Происходит плавление малых частиц металла в зоне электрических разрядов, возникающих между электродами. Разряды возбуждаются с помощью импульсов напряжения, вырабатываемых специальными генераторами, дающими более продолжительный и мощный дуговой разряд, чем при электроискровом методе. Наиболее часто электроимпульсный метод применяют для прошивки, объемного копирования и для обработки резцов, фрез и штампов из жаропрочных и твердых сплавов.

Электроконтактнодуговая обработка основана на электромеханическом разрушении обрабатываемого металла преимущественно на воздухе без применения электролита. Металл разрушается под воздействием электродуговых разрядов при быстром перемещении инструмента относительно обрабатываемой заготовки. Этот метод применяют для резки заготовок, обдирки отливок или слитков, заточки инструмента, плоского шлифования или очистки от окалины, обработки цилиндрических поверхностей твердосплавными резцами, прошивки отверстий и другой черновой обработки плоских и криволинейных поверхностей.

Анодно-механическая обработка основана на электрохимическом и электротермическом разрушении обрабатываемого металла. Инструмент является катодом, заготовка — анодом. В процессе работы в зону заготовки по шлангу подается электролит так, чтобы зазор

между диском и заготовкой всегда был заполнен рабочей жидкостью. При прохождении постоянного тока через электроды и электролит поверхность заготовки подвергается анодному растворению и на ней образуется токонепроводящая пленка, которая снимается перемещающимся или вращающимся инструментом, обеспечивая непрерывное растворение металла. При определенных условиях в зоне обработки возникают кратковременные дуговые разряды. Эти разряды, развивая высокую температуру, выплавляют металл заготовки, что способствует ускорению процесса. Следовательно, при анодно-механической обработке направленное разрушение металла происходит при совместном электрохимическом и электротермическом действии тока на обрабатываемую заготовку. Применение этого метода обеспечивает высокую эффективность обработки труднообрабатываемых материалов (твердых сплавов и сплавов с особыми свойствами).

Ультразвуковая обработка осуществляется с помощью ультразвуковых колебаний. Ультразвуковыми называются механические колебания упругой среды с частотой, превышающей 20 000 Гц. Источником колебаний здесь являются специальные (магнитострикционные) вибраторы, сообщающие ультразвуковые колебания инструменту — вибратору, опущенному в абразивную суспензию в зоне обработки. Вибратор наносит удары по зернам абразива и направляет их на обрабатываемую заготовку. Частицы абразива ударяют по ее поверхности, откалывая и выбивая частички материала. В качестве абразива обычно применяют порошок карбида бора или электрокорунда различной зернистости, а для суспензии используют воду, керосин. Инструмент изготавливают из конструкционной стали марок 40, 45 и 50; по форме и размерам он должен соответствовать профилю обрабатываемой поверхности заготовки. Ультразвуковую обработку применяют для прошивки отверстий, долбления полостей и других видов обработки заготовок из твердых и хрупких материалов: стекла, твердых сплавов, закаленных сталей.

Обработка световым лучом (лазером) применяется для заготовок из труднообрабатываемых материалов. Лазер — это оптический квантовый генератор, вырабатывающий в определенных условиях световые лучи

с высокой плотностью энергии, с на очень малый участок обрабатываемого материала, который мгновенно нагревается, плавит. Лазером осуществляется разрезка, сверление очень малых отверстий и выполнение точной обработки. Лазеры работают в импульсном режиме с частотой до 1 кГц и сосредоточены в пятне диаметром до 0,01 мм при длительности импульсов в тысячных долях секунды. Обработка с помощью лазеров не требует вакуума.

65. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

К электрохимическим методам обработки относятся электрохимическое травление, электрохимическое полирование, электрохимическая обработка в проточном электролите, электрохимическая притирка, чистовая доводка поверхности и другие операции.

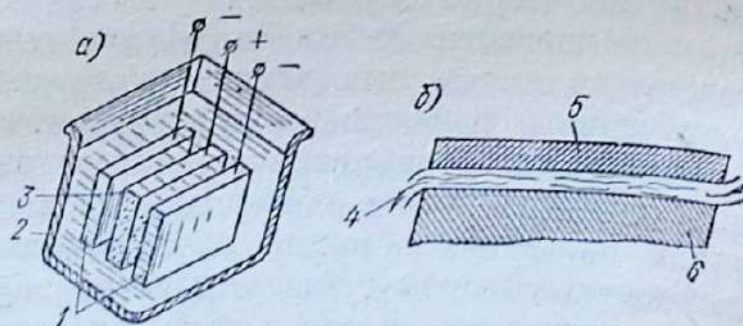


рис. 40. Электрохимическая обработка деталей:
а — травление; б — полирование

Электрохимическая обработка металлов основана на растворении металла (анода) при пропускании тока через электролит. Электрохимическое травление используют в промышленности для очистки поверхности металлов и сплавов от ржавчины, жировых пленок и других загрязнений. Сущность процесса заключается в том, что, как показано на рис. 40, а), заполненную электролитом, помещают в цепь постоянного электрического тока. В электролите применяют растворы кис-

равленные
материала,
и испаряется.
получение
раз-
других видов ре-
импульсным ре-
луча в пучок
импульса, рав-
тка материалов
ых камер.

ы
тки металлов
наибольшее
очистку от
ие, размер-
также хи-
одку, шли-

лот или щелочей. Для повышения эф-
цесса электролит подогревают до 70—
ветствующей плотности тока образова-
не может удержаться на анодной поверх-
рывно удаляется под действием электр-
Пленки удаляются вместе с окалиной,
другими загрязнениями, анодная поверх-
бует дополнительной очистки. При электр-
полировании струя электролита 4 (рис. 40,
с большой скоростью в зазоре между катод-
батываемой поверхностью — анодом 6 и при-
нии тока большой плотности интенсивно р-
выступы (гребешки) на поверхности заготов-
трохимическое полирование и глянцева-
как окончательную чистовую обработку при из-
нии режущих инструментов (сверл, фрез, кала-
др.) зубьев, шестерен, клапанов и других деталей
ной конфигурации.

Химико-механическая обработка выполняется
мощью паст или суспензий. Разрушение и уда-
частиц металла происходит без подвода электриче-
энергии, за счет химических реакций в зоне обраб-
и сопутствующего им механического воздейст-
с целью удаления продуктов разрушения. Хими-
механическую обработку восполняют по одному
трех вариантов:

- 1) с применением поверхностно-активных веществ —
для притирки, чистовой доводки и шлифования любых
металлов и сплавов;
- 2) с применением электролитов для разрезки спла-
вов любой твердости, доводки изделий, шлифования;
- 3) с применением химически активных сред — для
притирки, шлифования черных металлов и сплавов.

на
а-

ПРИЛОЖЕНИЕ

Соотношение чисел твердости металлов и сплавов, определенных различными методами

Диаметр отпечат- ка d , мм	По Бри- неллю H_B	По Роквеллу			Диаметр отпечат- ка d , мм	По Вик- керсу H_V	По Бри- неллю H_B	По Роквеллу			По Вик- керсу H_V
		HRC	HRA	HRB				HRC	HRA	HRB	
2,00	946	—	—	—	3,85	—	248	25	63	—	250
2,05	898	—	—	—	3,90	—	241	24	63	—	240
2,10	875	—	—	—	3,95	—	235	23	62	—	235
2,15	817	—	—	—	4,00	—	229	—	—	—	226
2,20	782	72	89	—	4,05	1220	223	—	—	—	221
2,25	744	69	87	—	4,10	1114	217	—	—	—	217
2,30	713	67	85	—	4,15	1021	212	—	—	—	213
2,35	683	65	84	—	4,20	940	207	—	—	—	209
2,40	652	63	83	—	4,25	967	201	—	—	—	201
2,45	627	61	82	—	4,30	803	197	—	—	—	197
2,50	600	59	81	—	4,35	746	192	—	—	—	190
2,55	578	58	80	—	4,40	694	187	—	—	—	186
2,60	555	56	79	—	4,45	649	183	—	—	—	183
2,65	532	54	78	—	3,85	606	248	25	63	—	250
2,70	512	52	77	—	3,90	587	241	24	63	100	240
2,75	495	51	76	—	3,95	551	235	23	62	99	235

2,80	477	49	76	—	534	4,00	229	—	—	—	98	226
2,85	460	48	75	—	502	4,05	223	—	—	—	97	221
2,90	444	47	74	—	474	4,10	217	—	—	—	97	217
2,95	429	45	73	—	460	4,15	212	—	—	—	96	213
3,00	415	44	73	—	435	4,20	207	—	—	—	95	209
3,05	401	43	72	—	423	4,25	201	—	—	—	94	201
3,10	388	41	71	—	401	4,30	197	—	—	—	93	197
3,15	375	40	71	—	390	4,35	192	—	—	—	92	190
3,20	363	39	70	—	380	4,40	187	—	—	—	91	186
3,25	352	38	69	—	361	4,45	183	—	—	—	89	183
3,30	341	37	69	—	344	4,50	179	—	—	—	88	177
3,35	331	36	68	—	335	4,55	174	—	—	—	87	174
3,40	321	35	68	—	320	4,60	170	—	—	—	86	170
3,45	311	34	67	—	312	4,65	167	—	—	—	85	166
3,50	302	33	67	—	305	4,70	163	—	—	—	84	163
3,55	293	31	66	—	291	4,75	159	—	—	—	83	159
3,60	286	30	66	—	285	4,80	156	—	—	—	82	156
3,65	277	29	65	—	278	4,85	152	—	—	—	81	153
3,70	269	28	65	—	272	4,90	149	—	—	—	80	149
3,75	262	27	64	—	261	4,95	146	—	—	—	79	146
3,80	255	26	64	—	255	5,00	143	—	—	—	78	143

Химический состав и механические свойства углеродистых качественных конструкционных сталей
(по ГОСТ 1050—74)

Марка стали	Содержание элементов, %					Cr не бо- лее	Свойства после нормализации					НВ не более	НВ после отжига или высо- кого от- пуска не более	σ _н МДж/м ² не менее
	C	Mn	Si	σ _в МПа	σ _{0,2} МПа		не менее							
							δ, %	Ψ, %						
08	0,05—0,12	0,35—0,65	0,17—0,37	0,10	320	200	33	60	131	—	—	—		
10	0,07—0,14	0,35—0,65	0,17—0,37	0,15	340	210	31	55	143	—	—	—		
15	0,12—0,19	0,35—0,65	0,17—0,37	0,25	380	230	27	55	149	—	—	—		
20	0,17—0,24	0,35—0,65	0,17—0,37	0,25	420	250	25	55	163	—	—	—		
25	0,22—0,30	0,50—0,80	0,17—0,37	0,25	460	280	23	50	170	—	—	0,9		
30	0,27—0,35	0,50—0,80	0,17—0,37	0,25	500	300	21	50	179	—	—	0,8		
35	0,32—0,40	0,50—0,80	0,17—0,37	0,25	540	320	20	45	207	—	—	0,7		
40	0,37—0,45	0,50—0,80	0,17—0,37	0,25	580	340	19	45	217	187	—	0,6		
45	0,42—0,50	0,50—0,80	0,17—0,37	0,25	610	360	16	40	229	197	—	0,5		
50	0,47—0,55	0,50—0,80	0,17—0,37	0,25	640	380	14	40	241	207	—	0,4		
55	0,52—0,60	0,50—0,80	0,17—0,37	0,25	660	390	13	35	255	217	—	—		
60	0,57—0,65	0,50—0,80	0,17—0,37	0,25	690	410	12	35	255	217	—	—		
65	0,62—0,70	0,50—0,80	0,17—0,37	0,25	710	420	10	30	255	224	—	—		
70	0,67—0,75	0,50—0,80	0,17—0,37	0,25	730	430	9	30	269	224	—	—		
75	0,72—0,80	0,50—0,80	0,17—0,37	0,25	1100	900	7	30	285	241	—	—		
80	0,77—0,85	0,50—0,80	0,17—0,37	0,25	1100	950	6	30	285	241	—	—		
85	0,82—0,90	0,50—0,80	0,17—0,37	0,25	1150	1100	6	30	302	255	—	—		
60Г	0,57—0,65	0,70—1,00	0,17—0,37	0,25	710	420	11	35	269	229	—	—		
65Г	0,62—0,70	0,90—1,20	0,17—0,37	0,25	750	440	9	—	285	229	—	—		
70Г	0,67—0,75	0,90—1,20	0,17—0,37	0,25	800	460	5	—	285	229	—	—		

Примечания: 1. В сталях допускается не более 0,04% S; 0,035% P; 0,25% Ni; 0,25% Cu. 2. Нормы механических свойств относятся к сталям диаметром или толщиной до 80 мм. 3. Механические свойства для сталей 75, 80, 85 гарантируется после закалки и среднего отпуска при температуре 480° С. 4. Ударная вязкость сталей 25—50 определяется после улучшения — закалки и высокого отпуска при температуре 600° С.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Основные сведения о строении, свойствах металлов и сплавов и методах их испытаний	5
1. Черные и цветные металлы	—
2. Кристаллическое строение металлов и сплавов	6
3. Сведения о кристаллизации металлов и сплавов	7
4. Физические свойства металлов	12
5. Химические свойства металлов	13
6. Механические свойства металлов	—
7. Технологические свойства металлов	18
Глава 2. Основные сведения из теории сплавов	19
8. Фазовые превращения в сплавах	20
9. Понятие о диаграммах состояния сплавов	21
10. Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов	25
11. Диаграмма состояния сплавов железо—углерод	26
Глава 3. Железоуглеродистые сплавы	28
12. Основные сведения о производстве чугуна. Доменный процесс. Продукты доменной плавки	—
13. Чугуны. Состав, свойства, сорта, маркировка, область применения	30
14. Способы получения стали из чугуна. Сталеплавильные печи. Процессы плавки	32
15. Краткие сведения о новейших методах получения высококачественной стали	36
16. Классификация стали по составу, назначению и качеству	39
17. Углеродистые стали. Свойства, маркировка, применение	—
18. Легированные стали. Свойства, маркировка, применение	42
	149

Глава 4. Термическая обработка железоуглеродистых сплавов	47
19. Сведения о термической обработке	—
20. Отжиг и нормализация углеродистой стали	50
21. Закалка стали	52
22. Отпуск и термомеханическая обработка стали	56
23. Дефекты термической обработки, их причины и предупреждение	57
24. Особенности термической обработки легированных сталей	58
25. Термическая обработка серого чугуна	61
26. Термическая обработка белого чугуна (получение ковкого чугуна)	—
Глава 5. Поверхностное упрочнение стали	62
27. Поверхностная закалка стали	63
28. Химико-термическая обработка	65
29. Поверхностное упрочнение стальных изделий пластическим деформированием	67
Глава 6. Цветные металлы и их сплавы	68
30. Медь и ее сплавы	—
31. Алюминий, магний, титан и их сплавы	72
32. Жаропрочные сплавы на основе никеля и кобальта. Тугоплавкие металлы и сплавы. Антифрикционные материалы	75
Глава 7. Твердые сплавы и минералокерамические материалы	78
33. Классификация твердых сплавов	—
34. Металлокерамические твердые сплавы	79
35. Минералокерамические материалы	80
36. Понятие о порошковой металлургии	—
37. Новейшие материалы для обработки металлов	81
Глава 8. Неметаллические материалы	82
38. Пластмассы	—
39. Резины	83
40. Абразивные материалы	85
41. Лакокрасочные и склеивающие материалы	87
Глава 9. Литейное производство	89
42. Основные сведения о литейном производстве	—
43. Понятие о плавильных устройствах	95
44. Чугунное, стальное литье, литье из цветных сплавов, дефекты отливок	96
45. Специальные методы литья	97
Глава 10. Обработка металлов давлением	99
46. Пластическая деформация, ее влияние на структуру металлов	—

47. Нагрев металла при обработке давлением . . .	100
48. Прокатка	102
49. Волочение, свободная ковка, прессование . . .	106
50. Штамповка	109
51. Специализированные процессы обработки давлением	112
Глава 11. Сварка, резка и пайка металлов	113
52. Сущность, назначение, область применения и виды сварки	—
53. Сварка плавлением и давлением. Холодная сварка	114
54. Механизация и автоматизация способов сварки	122
55. Понятие о резке и пайке металлов	124
Глава 12. Обработка металлов резанием	125
56. Основы резания металлов	—
57. Классификация и нумерация металлорежущих станков	129
58. Обработка на токарных станках	130
59. Обработка на сверлильных и расточных станках	132
60. Обработка на фрезерных станках	134
61. Обработка на строгальных и долбежных станках	136
62. Обработка на шлифовальных станках	138
63. Автоматизация металлорежущих станков . . .	140
Глава 13. Электрофизические и электрохимические методы обработки металлов	141
64. Электрофизические методы	—
65. Электрохимические методы	144
Приложение	146

ИБ № 2940

Николай Николаевич КРОПИВНИЦКИЙ
Александр Михайлович КУЧЕР
Рая Викторовна ПУГАЧЕВА
Петр Николаевич ШОРНИКОВ

ТЕХНОЛОГИЯ
МЕТАЛЛОВ

Редактор И. А. Денина
Художественный редактор С. С. Венедиктов
Технический редактор Т. П. Малашкина
Корректоры Т. Н. Гринчук, И. Г. Жукова
Обложка художника В. Э. Нефедовича

Сдано в набор 12.10.79. Подписано в печать 26.02.80. М-28567.
Формат 84×108¹/₂. Бумага газетная. Гарнитура литературная. Печать
высокая. Усл. печ. л. 7,98. Уч.-изд. л. 7,93. Тираж 100 000 экз.
Заказ № 642. Цена 20 к.

Ленинградское отделение издательства «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
191065, Ленинград, Д-63, ул. Дзержинского, 10

Отпечатано в Ленинградской типографии № 2 головном предприя-
тии ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объедине-
ния «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР по делам издательств, поли-
графии и книжной торговли, 198052, г. Ленинград, Л-52, Измайлов-
ский проспект, 29 с матриц Ленинградской типографии № 6 Ленин-
градского производственного объединения «Техническая книга»
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам
издательств, полиграфии и книжной торговли, 193144, Ленинград,
С-144, ул. Монсеенко, 10.

20 коп.

