

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности
Кафедра
«Технологические машины и оборудования и сервисное
обслуживания»

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Конспект лекций
**Специальность - 5320300 - "Машины и аппараты текстильной и
легкой промышленности"**

Ташкент - 2017

Аннотация

В конспекте лекций по предмету «Технология конструкционных материалов» представлены теоретические и практические основы процессов от получения сталей чугунов до способов его обработки
Курс рассчитан расширения кругозора студентов в области машиностроения

Подготовлено к печати на кафедре «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЯ ».

Составил: ст. пр. Бутовский П.М.

Ассистент Алламов М.А.

Под редакцией; академик, д.т.н., профессора Махкамова Р.Г.

Рецензенты: к.т.н., доц. Бабаджанов С.Х. –ТИТЛП

Гайнулин Ф.Х.-дир. ООО «ENVER»

Обсуждено и утверждено на методическом совете ТИТЛП
« ___ » _____ 201 __ протокол №

ЛЕКЦИЯ №1

Основы металлургического производства. Производство чугуна Основы металлургического производства Современное металлургическое производство и его продукция

Современное металлургическое производство представляет собой комплекс различных производств, базирующихся на месторождениях руд и коксующихся углей, энергетических комплексах. Оно включает:

- шахты и карьеры по добыче руд и каменных углей;
- горно-обогатительные комбинаты, где обогащают руды, подготавливая их к плавке;
- коксохимические заводы (подготовка углей, их коксование и извлечение из них полезных химических продуктов);
- энергетические цехи для получения сжатого воздуха (для дутья доменных печей), кислорода, очистки металлургических газов;
- доменные цехи для выплавки чугуна и ферросплавов или цехи для производства железорудных металлизированных окатышей;
- заводы для производства ферросплавов;
- сталеплавильные цехи (конвертерные, мартеновские, электросталеплавильные);
- прокатные цехи (слиток в сортовой прокат).

Основная продукция чёрной металлургии:

- чугуны: предельный, используемый для передела на сталь, и литейный, для производства фасонных отливок;
- железорудные металлизированные окатыши для выплавки стали;
- ферросплавы (сплавы железа с повышенным содержанием марганца, кремния, ванадия, титана и т.д.) для легированных сталей;
- стальные слитки для производства проката,
- стальные слитки для изготовления крупных кованных валов, дисков (кузнечные слитки).

Основная продукция цветной металлургии:

- слитки цветных металлов для производства проката;
- слитки для изготовления отливок на машиностроительных заводах;
- лигатуры – сплавы цветных металлов с легирующими элементами для производства сложных легированных сплавов;
- слитки чистых и особо чистых металлов для приборостроения и электротехники.

Материалы для производства металлов и сплавов

Для производства чугуна, стали и цветных металлов используют руду, флюсы, топливо, огнеупорные материалы.

Промышленная руда – горная порода, из которой целесообразно извлекать металлы и их соединения (содержание металла в руде должно быть не менее 30...60 % для железа, 3..5% для меди, 0,005...0,02 % для молибдена).

Руда состоит из минералов, содержащих металл или его соединения, и пустой породы. Называют руду по одному или нескольким металлам, входящим в их состав, например: железные, медно-никелевые.

В зависимости от содержания добываемого элемента различают руды богатые и бедные. Бедные руды обогащают – удаляют часть пустой породы.

Флюсы – материалы, загружаемые в плавильную печь для образования легкоплавкого соединения с пустой породой руды или концентратом и золой топлива. Такое соединение называется шлаком.

Обычно шлак имеет меньшую плотность, чем металл, поэтому он располагается над металлом и может быть удален в процессе плавки. Шлак защищает металл от печных газов и воздуха. Шлак называют кислым, если в его составе преобладают кислотные оксиды (SiO_2, P_2O_5), и основным, если в его составе больше основных оксидов (CaO, MgO, FeO)

Вводят в виде агломерата и окатышей.

Топливо – в металлургических печах используется кокс, природный газ, мазут, доменный (колошниковый) газ.

Кокс получают сухой перегонкой при температуре 1000 °С (без доступа воздуха) каменного угля коксующихся сортов. В коксе содержится 80...88 % углерода, 8...12 % золы, 2...5 % влаги. Куски кокса должны иметь размеры 25...60 мм. Это прочное неспекающееся топливо, служит не только горючим для нагрева, но и химическим реагентом для восстановления железа из руды.

Огнеупорные материалы применяют для изготовления внутреннего облицовочного слоя (футеровки) металлургических печей и ковшей для расплавленного металла.

Они способны выдержать нагрузки при высоких температурах, противостоять резким изменениям температуры, химическому воздействию шлака и печных газов.

По химическим свойствам огнеупорные материалы разделяют на группы: кислые (кварцевый песок, диносовый кирпич), основные (магнезитовый кирпич, магнезитохромитовый кирпич), нейтральные (шамотный кирпич).

Взаимодействие основных огнеупорных материалов и кислых шлаков, и наоборот, может привести к разрушению печи.

Углеродистый кирпич и блоки содержат до 92 % углерода в виде графита, обладают повышенной огнеупорностью. Применяются для кладки лещадки доменных печей, электролизных ванн для получения алюминия, тиглей для плавки и разливки медных сплавов.

Производство чугуна

Чугун – сплав железа и углерода с сопутствующими элементами (содержание углерода более 2,14 %).

Для выплавки чугуна в доменных печах используют железные руды, топливо, флюсы.

К железным рудам относятся:

– магнитный железняк (Fe_3O_4) с содержанием железа 55...60 %, месторождения – Соколовское, Курская магнитная аномалия (КМА);

– красный железняк (Fe_2O_3) с содержанием железа 55...60 % , месторождения – Кривой Рог, КМА;

– бурый железняк (гидраты оксидов железа $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ и $Fe_2O_3 \cdot H_2O$) с содержанием железа 37...55 % – Керчь.

Марганцевые руды применяются для выплавки сплава железа с марганцем – ферромарганца (10...82% Mn), а также предельных чугунов, содержащих до 1% марганца. Марганец в рудах содержится в виде окислов и карбонатов: MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , $MnCO_3$ и др..

Хромовые руды применяются для производства феррохрома, металлического хрома и огнеупорных материалов – хромомagneзитов.

Топливом для доменной плавки служит кокс, возможна частичная замена газом, мазутом.

Флюсом является известняк $CaCO_3$ или доломитизированный известняк, содержащий $CaCO_3$ и $MgCO_3$, так как в шлак должны входить основные оксиды (CaO, MgO), которые необходимы для удаления серы из металла.

Подготовка руд к доменной плавке осуществляется для повышения производительности доменной печи, снижения расхода кокса и улучшения качества чугуна.

Метод подготовки зависит от качества руды.

Дробление и сортировка руд по крупности служат для получения кусков оптимальной величины, осуществляются с помощью дробилок и классификаторов.

Обогащение руды основано на различии физических свойств минералов, входящих в ее состав:

а) промывка – отделение плотных составляющих от пустой рыхлой породы;

б) гравитация (отсадка) – отделение руды от пустой породы при пропускании струи воды через дно вибрирующего сита: пустая порода вытесняется в верхний слой и уносится водой, а рудные минералы опускаются;

в) магнитная сепарация – измельчённую руду подвергают действию магнита, притягивающего железосодержащие минералы и отделяющего их от пустой породы.

Окусование производят для переработки концентратов в кусковые материалы необходимых размеров. Применяют два способа окусовывания: агломерацию и окутывание.

При агломерации шихту, состоящую из железной руды (40...50 %), известняка (15...20 %), возврата мелкого агломерата (20...30 %), коксовой мелочи (4...6 %), влаги (6...9 %), спекают на агломерационных машинах при температуре 1300...1500 °С. При спекании из руды удаляются вредные примеси (сера, мышьяк), разлагаются карбонаты, и получается кусковой пористый офлюсованный агломерат,

При окутывании шихту из измельчённых концентратов, флюса, топлива увлажняют и при обработке во вращающихся барабанах она приобретает форму шариков-окатышей диаметром до 30 мм. Их высушивают и обжигают при температуре 1200...1350 °С.

Использование агломерата и окатышей исключает отдельную подачу флюса–известняка в доменную печь при плавке.

ЛЕКЦИЯ №2

Методы обогащения руды

Обогащением руды называется операция, увеличивающая содержание железа или снижающая содержание вредных примесей в руде. Обогащение позволяет существенно повысить содержание железа в шихте доменных печей, улучшить условия восстановления железа, уменьшить выход шлака, улучшая тем самым ход печи и снижая расход кокса при возрастающей производительности. Установлено, что в средних условиях плавки повышение содержания железа в шихте на 1% позволяет увеличить производительность печи на 2—2,5% при снижении удельного расхода кокса на 2—2,5%.

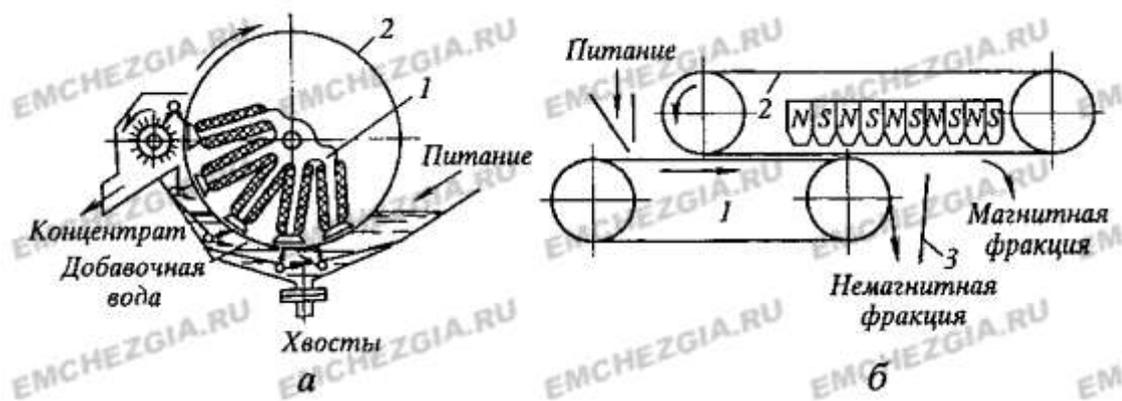


Рисунок 1. Магнитные сепараторы

а - барабанный для мокрой сепарации; б - ленточный для сухой сепарации

Получаемые на обогатительных фабриках концентраты содержат до 65—68% Fe. Эффективность обогащения оценивается по величине показателей обогащения. На обогатительных фабриках ежемесячно определяют содержание железа в исходной руде, в концентрате и в отходах обогащения - хвостах. Чем выше содержание железа в концентрате и чем ниже оно в хвостах, тем эффективнее считается обогащение.

Выходом концентрата называется соотношение масс концентрата и исходной руды (последняя принята за единицу). Аналогично вычисляется и выход хвостов. На обогатительной фабрике сумма масс концентрата и хвостов равна массе исходной руды, т. е. сумма выходов концентрата и хвостов равна единице.

Выход концентрата при обогащении может быть вычислен по содержаниям железа в руде, концентрате и хвостах. Извлечением железа в концентрат называется соотношение масс железа в концентрате и в исходной руде.

Наконец, вычисляются коэффициенты обогащения и сокращения. Первый из них показывает, во сколько раз содержание железа в концентрате больше, чем в исходной руде, а второй — во сколько раз масса концентрата

меньше массы исходной руды.

Эффективность обогащения необходимо оценивать по всем показателям обогащения одновременно. Так, высокое содержание железа в концентрате может сопровождаться низким выходом концентрата и низким извлечением железа в концентрат. Наоборот, высокий выход концентрата связан с пониженным содержанием железа в нем и т. д.

Выполним пример подсчета показателей обогащения для условий где содержание железа в руде, концентрате и хвостах составляет соответственно $\alpha = 15,9\%$; $\beta = 61,38\%$; $\nu = 6,55\%$ (1984 г.).

$$\gamma_k = \frac{(\alpha - \nu) \cdot 100}{\beta - \nu} = \frac{15,9 - 6,55}{61,38 - 6,55} \cdot 100 = 17,05\%.$$

Выход концентрата:

$$\text{Выход хвостов: } Y_{\text{хв}} = 100 - 17,05 = 82,95\%.$$

$$\epsilon_k = \frac{\gamma_k \cdot \beta_{\text{Fe}}}{\alpha_{\text{Fe}}} = \frac{17,05 \cdot 61,38}{15,9} = 65,82\%.$$

Извлечение железа в концентрат:

$$\text{Извлечение железа в хвосты: } E_{\text{хв}} = 100 - 65,82 = 34,18\%.$$

$$\text{Коэффициент обогащения: } K_o = \beta_{\text{Fe}} / \alpha_{\text{Fe}} = 61,38 / 15,9 = 3,87.$$

$$\text{Коэффициент сокращения: } K_c = 1 / \gamma_k = 1 / 0,1705 = 5,86.$$

Таким образом, из 1 т руды получают 170,5 кг концентрата. При этом 65,82% Fe используется затем в металлургическом переделе, а 34,18% Fe теряется безвозвратно с хвостами. Общий расход электроэнергии на дробление, измельчение и обогащение составляет на КачГОКе 68,8 кВт-ч/т концентрата.

Наиболее древним **способом обогащения руд** является мойка, в ходе которой на дробленую руду во вращающемся барабане направляется сильная струя воды, способная отделить глинистую пустую породу от рудного вещества. На концентрационных столах, в отсадочных машинах для разделения рудных минералов и пустой породы используется различие плотности этих компонентов руды: 2,65 г/см³ для кварцита и 5,26 г/см³ для гематита.

Обогащение руды флотацией основано на неодинаковых гидрофильности и гидрофобности минералов. Наибольшее распространение получил метод магнитной сепарации руды, когда измельченную руду пропускают через магнитное поле. Удельная магнитная восприимчивость магнетита высокая (до $97350 \cdot 10^{-6}$ см³/г), в то время как кварц относится к диамагнетикам ($-0,47 \cdot 10^{-6}$ см³/г).

В барабанном магнитном сепараторе Эдисона неподвижный электромагнит 1 располагается внутри вращающегося барабана 2, на внешнюю поверхность которого подаются обогащаемая руда с водой. Частицы пустой породы оседают на дно бака, а частицы магнетита притягиваются к поверхности вращающегося барабана и могут быть смыты с нее только вне магнитного поля, что позволяет выделить концентрат магнитной сепарации (шлих).

На рисунке показана также конструкция ленточного магнитного сепаратора для обогащения (сухой сепарации) сильно магнитных руд. Конструкция включает транспортную 7 и убирающую 2 ленты и

делительную перегородку 3. Производительность магнитных сепараторов достигает 45-50 т/ч при обогащении тонкоизмельченных магнетитовых железных руд.

Концентраты обогащения руды представляют собой весьма тонкий порошок и не могут быть загружены в доменные печи без предварительного окускования на фабриках окатышей или агломерационных фабриках

Много внимания в металлургической промышленности уделяется **усреднению химического состава железных руд**. Содержание железа в руде и агломерате, загружаемых в данный момент в доменные печи, не должно отличаться от среднего арифметического за длительный период более чем на + 0,5 абс. %.

Среднеквадратическое отклонение "сигма" содержания железа в разовой пробе a может быть вычислено по среднему арифметическому a_{cp} из n проб по

формуле:
$$\sigma = \sqrt{\sum(a_{cp} - a)^2/n}$$

Результаты работы усреднительных установок оцениваются величиной степени усреднения: $K_{уср} = a_1:a_2$ (где a_1 и a_2 — величины стандартных отклонений до и после усреднения). Если плавка ведется на рудах постоянного состава, то персонал доменного цеха имеет возможность снизить до предела расход кокса, работая без перегрева печей и не опасаясь аварийного похолодания печей. При этом достигается ровный экономичный ход доменных печей с соответствующим повышением их производительности.

Прибывающая на металлургический завод руда выгружается на рудный двор вагон опрокидывателем. В современных условиях более 90% рудной части шихты доменных печей состоит из агломерата, поэтому **усреднение руды** ведется на агломерационных фабриках. Прежде доля неподготовленной руды в доменной шихте была значительной. По этой причине, а также для создания запасов руды на зимнее время доменные цехи имели обширные рудные дворы.

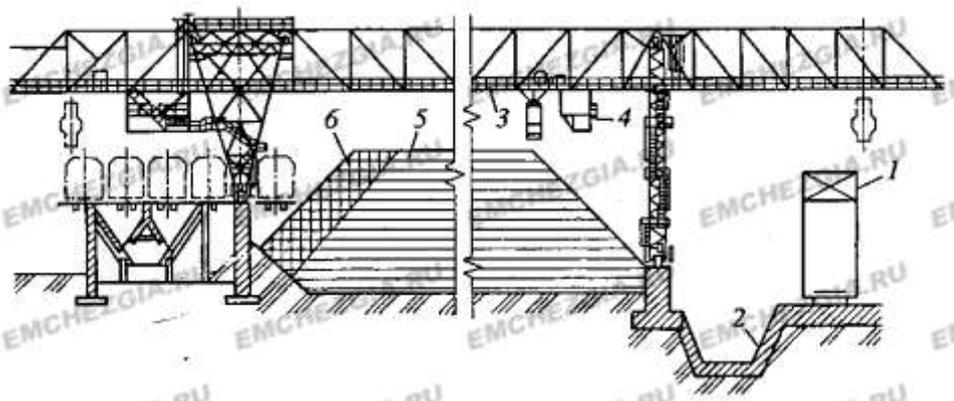


Рисунок 2. Усреднение руды на рудном дворе доменного цеха
1 - вагоноопрокидыватель; 2 — рудная траншея; 3 — рудный мостовой грейферный кран; 4 — грейферная тележка; 5 — горизонтальные слои штабеля (формируются при укладке штабеля); 6 — зона отбора руды для доменных печей (поперек горизонтальных слоев)

Прибывающая руда разгружается вагон опрокидывателем 1 в рудную траншею 2, откуда мостовым грейферным краном 3 укладывается в штабель высотой до 17 м. Расстояние между длинной и короткой ногами крана, определяющее ширину штабеля, достигает 115 м. По длине рудный двор занимает весь фронт доменных печей. Число кранов обычно в 2 раза меньше числа доменных печей. Вся руда, загружаемая в печи, проходит усреднение на рудном дворе. Для этого руду из рудной траншеи в формируемый штабель укладывают послойно. Машинист крана должен рассыпать руду по возможности более тонким слоем на всю длину штабеля, перемещая по мосту тележку со слегка открытыми челюстями грейфера. При этом руду каждого эшелона составит один из горизонтальных слоев 5 формируемого штабеля.

Руда следующего эшелона, по составу отличающаяся от предшествующей, будет уложена выше таким же тонким горизонтальным слоем. Штабель формируют до определенной высоты. Иной порядок соблюдается при заборе руды из сформированного штабеля для загрузки ее в доменные печи. Забор руды осуществляется вразрез штабеля с таким расчетом, чтобы грейфер захватывал одновременно как можно больше слоев, усредняя тем самым состав отгружаемой со склада руды.

Принципы **укладки руды в штабель** горизонтальными слоями и забора ее из штабеля поперек слоев составляют основу любой схемы усреднения руды на рудных дворах. Степень усреднения возрастает с увеличением размеров штабелей руды. Для складов с рудными грейферными кранами степень усреднения составляет в среднем 1,8—2,2.

За рубежом для усреднения руды часто используют открытые рудные дворы без мостовых кранов. Формирование штабелей и забор руды из них осуществляют машинами напольного типа. Склад системы Робинса показан на рис. 3. а.

Поступающая на усреднение руда укладчиком 3 рассыпается в два формируемых штабеля продольными слоями при движении машины вдоль оси штабелей. Число слоев в штабеле составляет 300—1000 при емкости штабеля 100 тыс. т. По окончании формирования штабелей (емкость склада до 800 тыс. т руды) руду берут поперек штабеля одновременно из всех горизонтальных слоев с помощью бороны 6 с зубьями (400—500 зубьев, наклон к горизонту 30—60°, ход рамы бороны 500—600 мм при числе качаний в минуту до 20).

На агломерационных фабриках России получила распространение, схема усреднения руды с формированием штабелей сверху движущейся тележкой, сбрасывающей руду с ленточного конвейера, монтируемого в крытой галерее, опирающейся на мачтовые опоры. Руду из штабеля забирают с помощью экскаваторов поперек продольных слоев. Использование такой системы также позволяет добиваться высоких степеней усреднения.

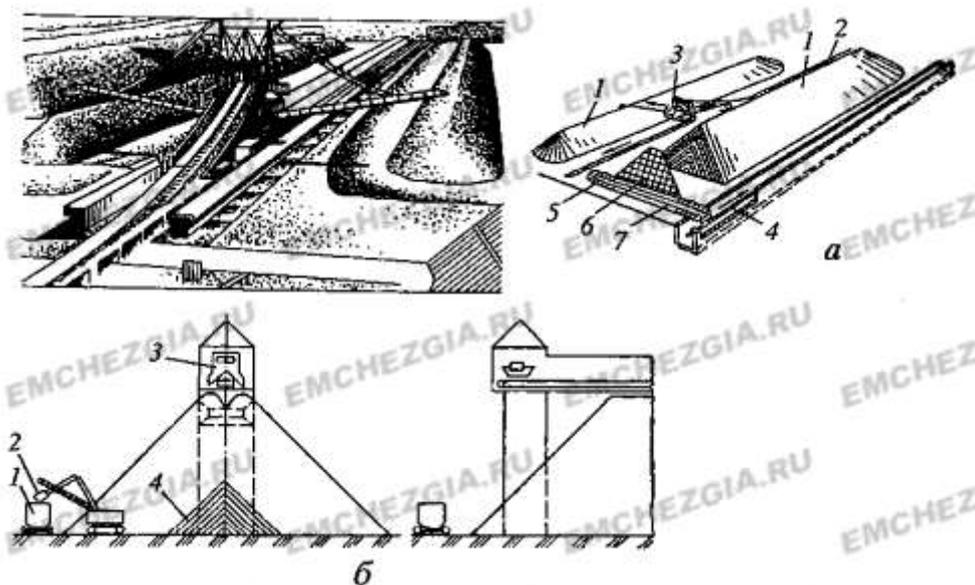


Рисунок 3. Усреднительные склады

а — Робинса (формируют одновременно два штабеля руды движущимся в челночном режиме укладчиком с двумя консольными конвейерами): 1 — штабеля руды; 2 — ленточный конвейер подачи руды на склад; 3 — укладчик; 4 — ленточный конвейер уборки усредненной руды; 5 - погрузочная машина с борной 6 и скребковым транспортером 7;

б - аглофабрики: 1 - железнодорожный вагон; 2 — экскаватор для погрузки выдаваемой со склада руды; 3 - транспортер с разгрузочной тележкой или автостелла; 4 — схема формирования штабеля руды, концентрата

Борона осыпает руду на скребковый транспортер 7. Борона и скребковый транспортер смонтированы на погрузочной машине, передающей усредненную руду на ленточный конвейер 4, располагаемый обычно в траншее. На складах Робинса получают высокую степень усреднения руды ($K_{\text{уср}} = 4-8$), но их эксплуатация в суровых зимних условиях связана со значительными трудностями (поломка борны погрузочной машины и т. д.). Крытый склад такого типа сооружен на Карагандинском металлургическом комбинате.

На агломерационных фабриках России получила распространение схема усреднительного склада с формированием штабелей сверху движущейся тележкой, сбрасывающей руду с ленточного конвейера, монтируемого в крытой галерее, опирающейся на мачтовые опоры. Руду из штабеля забирают с помощью экскаваторов поперек продольных слоев. Использование такой системы также позволяет добиваться высоких степеней усреднения.

ЛЕКЦИЯ №3

Материалы используемые в доменных печах. Устройство печи и принцип работы. Экономические показатели используемые в доменных печах

Для производства чугуна, стали и цветных металлов используют руду, флюсы, топливо, огнеупорные материалы.

Промышленная руда – горная порода, из которой целесообразно извлекать металлы и их соединения (содержание металла в руде должно быть не менее 30...60 % для железа, 3..5% для меди, 0,005...0,02 % для молибдена).

Руда состоит из минералов, содержащих металл или его соединения, и пустой породы. Называют руду по одному или нескольким металлам, входящим в их состав, например: железные, медно-никелевые.

В зависимости от содержания добываемого элемента различают руды богатые и бедные. Бедные руды обогащают – удаляют часть пустой породы.

Флюсы – материалы, загружаемые в плавильную печь для образования легкоплавкого соединения с пустой породой руды или концентратом и золой топлива. Такое соединение называется шлаком.

Обычно шлак имеет меньшую плотность, чем металл, поэтому он располагается над металлом и может быть удален в процессе плавки. Шлак защищает металл от печных газов и воздуха. Шлак называют кислым, если в его составе преобладают кислотные оксиды (SiO_2, P_2O_5), и основным, если в его составе больше основных оксидов (CaO, MgO, FeO)

Вводят в виде агломерата и окатышей.

Топливо – в металлургических печах используется кокс, природный газ, мазут, доменный (колошниковый) газ.

Кокс получают сухой перегонкой при температуре 1000 °С (без доступа воздуха) каменного угля коксующихся сортов. В коксе содержится 80...88 % углерода, 8...12 % золы, 2...5 % влаги. Куски кокса должны иметь размеры 25...60 мм. Это прочное неспекающееся топливо, служит не только горючим для нагрева, но и химическим реагентом для восстановления железа из руды.

Огнеупорные материалы применяют для изготовления внутреннего облицовочного слоя (футеровки) металлургических печей и ковшей для расплавленного металла.

Они способны выдержать нагрузки при высоких температурах, противостоять резким изменениям температуры, химическому воздействию шлака и печных газов.

По химическим свойствам огнеупорные материалы разделяют на группы: кислые (кварцевый песок, диносовый кирпич), основные (магнезитовый кирпич, магнезитохромитовый кирпич), нейтральные (шамотный кирпич).

Взаимодействие основных огнеупорных материалов и кислых шлаков, и наоборот, может привести к разрушению печи.

Углеродистый кирпич и блоки содержат до 92 % углерода в виде графита, обладают повышенной огнеупорностью. Применяются для кладки лещади доменных печей, электролизных ванн для получения алюминия, тиглей для плавки и разливки медных сплавов.

Производство чугуна

Чугун – сплав железа и углерода с сопутствующими элементами (содержание углерода более 2,14 %).

Для выплавки чугуна в доменных печах используют железные руды, топливо, флюсы.

К железным рудам относятся:

– магнитный железняк (Fe_3O_4) с содержанием железа 55...60 %, месторождения – Соколовское, Курская магнитная аномалия (КМА);

– красный железняк (Fe_2O_3) с содержанием железа 55...60 %, месторождения – Кривой Рог, КМА;

– бурый железняк (гидраты оксидов железа $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ и $Fe_2O_3 \cdot H_2O$) с содержанием железа 37...55 % – Керчь.

Марганцевые руды применяются для выплавки сплава железа с марганцем – ферромарганца (10...82% Mn), а также передельных чугунов, содержащих до 1% марганца. Марганец в рудах содержится в виде оксидов и карбонатов: MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , $MnCO_3$ и др..

Хромовые руды применяются для производства феррохрома, металлического хрома и огнеупорных материалов – хромомagnesитов.

Топливом для доменной плавки служит кокс, возможна частичная замена газом, мазутом.

Флюсом является известняк $CaCO_3$ или доломитизированный известняк, содержащий $CaCO_3$ и $MgCO_3$, так как в шлак должны входить основные оксиды (CaO, MgO), которые необходимы для удаления серы из металла.

Подготовка руд к доменной плавке осуществляется для повышения производительности доменной печи, снижения расхода кокса и улучшения качества чугуна.

Метод подготовки зависит от качества руды.

Дробление и сортировка руд по крупности служат для получения кусков оптимальной величины, осуществляются с помощью дробилок и классификаторов.

Обогащение руды основано на различии физических свойств минералов, входящих в ее состав:

а) промывка – отделение плотных составляющих от пустой рыхлой породы;

б) гравитация (отсадка) – отделение руды от пустой породы при пропускании струи воды через дно вибрирующего сита: пустая порода вытесняется в верхний слой и уносится водой, а рудные минералы опускаются;

в) магнитная сепарация – измельчённую руду подвергают действию магнита, притягивающего железосодержащие минералы и отделяющего их от пустой породы.

Окусование производят для переработки концентратов в кусковые материалы необходимых размеров. Применяют два способа окусования: агломерацию и окатывание.

При агломерации шихту, состоящую из железной руды (40...50 %), известняка (15...20 %), возврата мелкого агломерата (20...30 %), коксовой мелочи (4...6 %), влаги (6...9 %), спекают на агломерационных машинах при температуре

1300...1500 °С. При спекании из руды удаляются вредные примеси (сера, мышьяк), разлагаются карбонаты, и получается кусковой пористый офлюсованный агломерат,

При окутывании шихту из измельчённых концентратов, флюса, топлива увлажняют и при обработке во вращающихся барабанах она приобретает форму шариков-окатышей диаметром до 30 мм. Их высушивают и обжигают при температуре 1200...1350 °С.

Использование агломерата и окатышей исключает отдельную подачу флюса–известняка в доменную печь при плавке.

Выплавка чугуна.

Чугун выплавляют в печах шахтного типа – *доменных печах*.

Сущность процесса получения чугуна в доменных печах заключается в восстановлении оксидов железа, входящих в состав руды оксидом углерода, водородом и твёрдым углеродом, выделяющимся при сгорании топлива.

При выплавке чугуна решаются задачи:

1. Восстановление железа из окислов руды, науглероживание его и удаление в виде жидкого чугуна определённого химического состава.
2. Оплавление пустой породы руды, образование шлака, растворение в нём золы кокса и удаление его из печи.

Устройство и работа доменной печи.

Доменная печь (рис. 1.1) имеет стальной кожух, выложенный огнеупорным шамотным кирпичом. Рабочее пространство печи включает колошник 6, шахту 5, распар 4, заплечики 3, горн 1, лещади 15.

В верхней части колошника находится засыпной аппарат 8, через который в печь загружают шихту. Шихту подают в вагонетки 9 подъемника, которые передвигаются по мосту 12 к засыпному аппарату и, опрокидываясь, высыпают шихту в приемную воронку 7 распределителя шихты. При опускании малого конуса 10 шихта попадает в чашу 11, а при опускании большого конуса 13 – в доменную печь, что предотвращает выход газов из доменной печи в атмосферу.

При работе печи шихтовые материалы, проплавляясь, опускаются, а через загрузочное устройство подают новые порции шихты, чтобы весь полезный объём был заполнен.

Полезный объём печи – объём, занимаемый шихтой от лещади до нижней кромки большого конуса засыпного аппарата при его опускании.

Полезная высота доменной печи (H) достигает 35 м, а полезный объём – 2000...5000 м³.

В верхней части горна находятся фурменные устройства 14, через которые в печь поступает нагретый воздух, необходимый для горения топлива. Воздух поступает из воздухонагревателя, внутри которого имеются камера сгорания и насадка из огнеупорного кирпича, в которой имеются вертикальные каналы. В камеру сгорания к горелке подается очищенный доменный газ, который, сгорая, образует горячие газы. Проходя через насадку, газы нагревают ее и удаляются через дымовую трубу. Через насадку пропускается воздух, он нагревается до

температуры 1000...1200 °С и поступает к фурменному устройству, а оттуда через фурмы 2 – в рабочее пространство печи. После охлаждения насадок нагреватели переключаются.

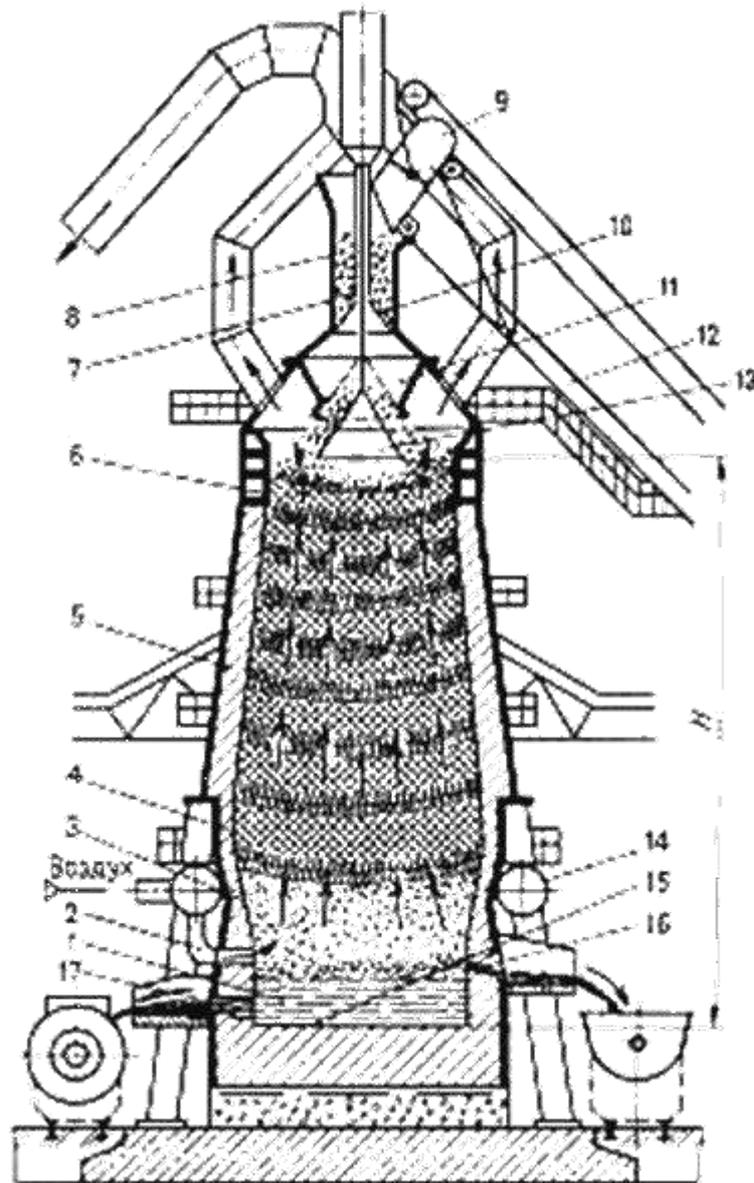
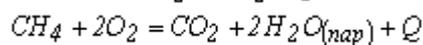
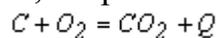


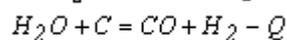
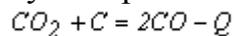
Рис. 1.1. Устройство доменной печи

Горение топлива. Вблизи фурм природный газ и углерод кокса, взаимодействуя с кислородом воздуха, сгорают:



В результате горения выделяется большое количество теплоты, в печи выше уровня фурм развивается температура выше 2000 °С.

Продукты сгорания взаимодействуют с раскаленным коксом по реакциям:



Образуется смесь восстановительных газов, в которой окись углерода CO является главным восстановителем железа из его оксидов. Для увеличения производительности подаваемый в доменную печь воздух увлажняется, что приводит к увеличению содержания восстановителя.

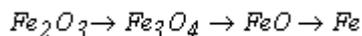
Горячие газы, поднимаясь, отдают теплоту шихтовым материалам и нагревают их, охлаждаясь до $300...400\text{ }^{\circ}C$ у колошника.

Шихта (агломерат, кокс) опускается навстречу потоку газов, и при температуре около $570\text{ }^{\circ}C$ начинается восстановление оксидов железа.

Восстановление железа в доменной печи.

Закономерности восстановления железа выявлены академиком Байковым А.А.

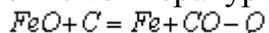
Восстановление железа происходит по мере продвижения шихты вниз по шахте и повышения температуры от высшего оксида к низшему, в несколько стадий:



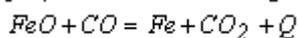
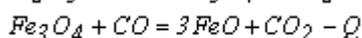
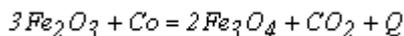
Температура определяет характер протекания химических реакций.

Восстановителями оксидов железа являются твердый углерод, оксид углерода и водород.

Восстановление твердым углеродом (коксом) называется *прямым восстановлением*, протекает в нижней части печи (зона распара), где более высокие температуры, по реакции:



Восстановление газами (CO и H_2) называется *косвенным восстановлением*, протекает в верхней части печи при сравнительно низких температурах, по реакциям:



За счет CO и H_2 восстанавливаются все высшие оксиды железа до низшего и $40...60\%$ металлического железа.

При температуре $1000...1100\text{ }^{\circ}C$ восстановленное из руды твердое железо, взаимодействуя с оксидом углерода, коксом и сажистым углеродом, интенсивно растворяет углерод. При насыщении углеродом температура плавления понижается и на уровне распара и заплечиков железо расплавляется (при температуре около $1300\text{ }^{\circ}C$).

Капли железоуглеродистого сплава, протекая по кускам кокса, дополнительно насыщаются углеродом (до 4%), марганцем, кремнием, фосфором, которые при температуре $1200\text{ }^{\circ}C$ восстанавливаются из руды, и серой, содержащейся в коксе.

В нижней части доменной печи образуется шлак в результате сплавления окислов пустой породы руды, флюсов и золы топлива. Шлаки содержат $Al_2O_3, CaO, MgO, SiO_2, MnO, FeO, CaS$. Шлак образуется постепенно, его состав меняется по мере стекания в горн, где он скапливается на поверхности жидкого чугуна, благодаря меньшей плотности. Состав шлака зависит от состава применяемых шихтовых материалов и выплавляемого чугуна.

Чугун выпускают из печи каждые $3...4$ часа через чугунную летку *16*, а шлак – каждые $1...1,5$ часа через шлаковую летку *17* (летка – отверстие в кладке, расположенное выше лещади).

Летку открывают бурильной машиной, затем закрывают огнеупорной массой. Сливают чугун и шлак в чугуновозные ковши и шлаковозные чаши.

Чугун поступает в кислородно-конвертерные или мартеновские цехи, или разливается в изложницы разливочной машиной, где он затвердевает в виде чушек-слитков массой 45 кг.

Продукты доменной плавки

Основным продуктом доменной плавки является чугун.

Предельный чугун предназначается для дальнейшего передела в сталь. На его долю приходится 90 % общего производства чугуна. Обычно такой чугун содержит 3,8...4,4 % углерода, 0,3...1,2 % кремния, 0,2...1 % марганца, 0,15...0,20 % фосфора, 0,03...0,07 % серы.

Литейный чугун применяется после переплава на машиностроительных заводах для получения фасонных отливок.

Кроме чугуна в доменных печах выплавляют

Ферросплавы – сплавы железа с кремнием, марганцем и другими элементами.

Их применяют для раскисления и легирования стали.

Побочными продуктами доменной плавки являются *шлак* и *доменный газ*.

Из шлака изготавливают шлаковату, цемент, удобрения (стараятся получить гранулированный шлак, для этого его выливают на струю воды).

Доменный газ после очистки используется как топливо для нагрева воздуха, вдуваемого в печь.

Важнейшие технико-экономические показатели работы доменных печей

1. Коэффициент использования полезного объема доменной печи (**КИПО**) – это отношение полезного объема печи V (м³) к ее среднесуточной производительности P (т) выплавленного чугуна.

$$КИПО = \frac{V}{P} \text{ (м}^3\text{/т)}$$

Чем ниже КИПО, тем выше производительность печи. Для большинства доменных печей КИПО = 0,5...0,7 (для передовых – 0,45)

2. Удельный расход кокса, **К** – это отношение расхода кокса за сутки A (т) к количеству чугуна, выплавленного за это же время P (т).

$$K = \frac{A}{P}$$

Удельный расход кокса в доменных печах составляет 0,5...0,7 (для передовых – 0,36...0,4)

К – важный показатель, так как стоимость кокса составляет более 50% стоимости чугуна.

ЛЕКЦИЯ №4 ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРАХ

Кислородно-конвертерный процесс – выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом через водоохлаждаемую фурму.

Первые опыты в 1933-1934 – Мозговой.

В промышленных масштабах – в 1952-1953 на заводах в Линце и Донавице (Австрия) – получил название ЛД-процесс. В настоящее время способ является основным в массовом производстве стали.

Кислородный конвертер – сосуд грушевидной формы из стального листа, футерованный основным кирпичом.

Вместимость конвертера – 130...350 т жидкого чугуна. В процессе работы конвертер может поворачиваться на 360° для загрузки скрапа, заливки чугуна, слива стали и шлака.

Шихтовыми материалами кислородно-конвертерного процесса являются жидкий передельный чугун, стальной лом (не более 30%), известь для наведения шлака, железная руда, а также боксит Al_2O_3 и плавиковый шпат CaF_2 для разжижения шлака.

Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах представлена на рис. 2.3.

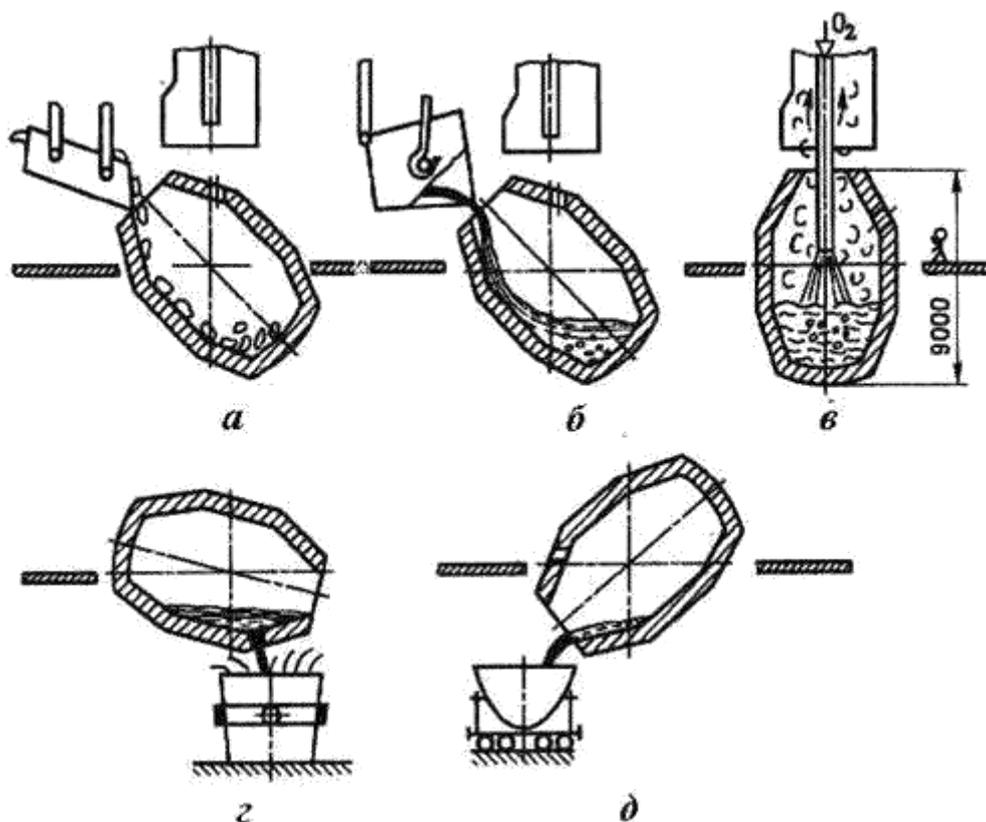


Рис.2.3. Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах

После очередной плавки стали выпускное отверстие заделывают огнеупорной массой и осматривают футеровку, ремонтируют.

Перед плавкой конвертер наклоняют, с помощью завалочных машин загружают скрап рис. (2.3.а), заливают чугун при температуре 1250...1400 °С (рис. 2.3.б).

После этого конвертер поворачивают в рабочее положение (рис. 2.3.в), внутрь вводят охлаждаемую фурму и через нее подают кислород под давлением 0,9...1,4 МПа. Одновременно с началом продувки загружают известь, боксит, железную руду. Кислород проникает в металл, вызывает его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком. Под фурмой развивается температура 2400 °С. В зоне контакта кислородной струи с металлом окисляется железо. Оксид железа растворяется в шлаке и металле, обогащая металл кислородом. Растворенный кислород окисляет кремний, марганец, углерод в металле, и их содержание падает. Происходит разогрев металла теплотой, выделяющейся при окислении.

Фосфор удаляется в начале продувки ванны кислородом, когда ее температура невысока (содержание фосфора в чугуне не должно превышать 0,15 %). При повышенном содержании фосфора для его удаления необходимо сливать шлак и наводить новый, что снижает производительность конвертера.

Сера удаляется в течение всей плавки (содержание серы в чугуне должно быть до 0,07 %).

Подачу кислорода заканчивают, когда содержание углерода в металле соответствует заданному. После этого конвертер поворачивают и выпускают сталь в ковш (рис. 2.3.г), где раскисляют осаждающим методом ферромарганцем, ферросилицием и алюминием, затем сливают шлак (рис. 2.3.д).

В кислородных конвертерах выплавляют стали с различным содержанием углерода, кипящие и спокойные, а также низколегированные стали. Легирующие элементы в расплавленном виде вводят в ковш перед выпуском в него стали.

Плавка в конвертерах вместимостью 130...300 т заканчивается через 25...30 минут.

ЛЕКЦИЯ №5

МАРТЕНОВСКА ПЕЧЬ. ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ ПЕЧЬ

Способы выплавки стали

Чугун переделывается в сталь в различных по принципу действия металлургических агрегатах: мартеновских печах, кислородных конвертерах, электрических печах.

Производство стали в мартеновских печах

Мартеновский процесс (1864-1865, Франция). В период до семидесятых годов являлся основным способом производства стали. Способ характеризуется сравнительно небольшой производительностью, возможностью использования вторичного металла – стального скрапа. Вместимость печи составляет 200...900 т. Способ позволяет получать качественную сталь.

Мартеновская печь (рис.5.1.) по устройству и принципу работы является пламенной отражательной регенеративной печью. В плавильном пространстве сжигается газообразное

топливо или мазут. Высокая температура для получения стали в расплавленном состоянии обеспечивается регенерацией тепла печных газов.

Современная мартеновская печь представляет собой вытянутую в горизонтальном направлении камеру, сложенную из огнеупорного кирпича. Рабочее плавильное пространство ограничено снизу подиной 12, сверху сводом 11, а с боков передней 5 и задней 10 стенками. Подина имеет форму ванны с откосами по направлению к стенкам печи. В передней стенке имеются загрузочные окна 4 для подачи шихты и флюса, а в задней – отверстие 9 для выпуска готовой стали.

Характеристикой рабочего пространства является площадь пода печи, которую подсчитывают на уровне порогов загрузочных окон. С обоих торцов плавильного пространства расположены головки печи 2, которые служат для смешивания топлива с воздухом и подачи этой смеси в плавильное пространство. В качестве топлива используют природный газ, мазут.

Для подогрева воздуха и газа при работе на низкокалорийном газе печь имеет два регенератора 1.

Регенератор – камера, в которой размещена насадка – огнеупорный кирпич, выложенный в клетку, предназначен для нагрева воздуха и газов.

Отходящие от печи газы имеют температуру 1500...1600 °С. Попадая в регенератор, газы нагревают насадку до температуры 1250 °С. Через один из регенераторов подают воздух, который проходя через насадку нагревается до 1200 °С и поступает в головку печи, где смешивается с топливом, на выходе из головки образуется факел 7, направленный на шихту 6.

Отходящие газы проходят через противоположную головку (левую), очистные устройства (шлаковики), служащие для отделения от газа частиц шлака и пыли и направляются во второй регенератор.

Охлажденные газы покидают печь через дымовую трубу 8.

После охлаждения насадки правого регенератора переключают клапаны, и поток газов в печи изменяет направление.

Температура факела пламени достигает 1800 °С. Факел нагревает рабочее пространство печи и шихту. Факел способствует окислению примесей шихты при плавке.

Продолжительность плавки составляет 3...6 часов, для крупных печей – до 12 часов. Готовую плавку выпускают через отверстие, расположенное в задней стенке на нижнем уровне пода. Отверстие плотно забивают малоспекающимися огнеупорными материалами, которые при выпуске плавки выбивают. Печи работают непрерывно, до остановки на капитальный ремонт – 400...600 плавков.

В зависимости от состава шихты, используемой при плавке, различают разновидности мартеновского процесса:

– скрап-процесс, при котором шихта состоит из стального лома (скрапа) и 25...45 % чушкового пердедельного чугуна, процесс применяют на заводах, где нет доменных печей, но много металлолома.

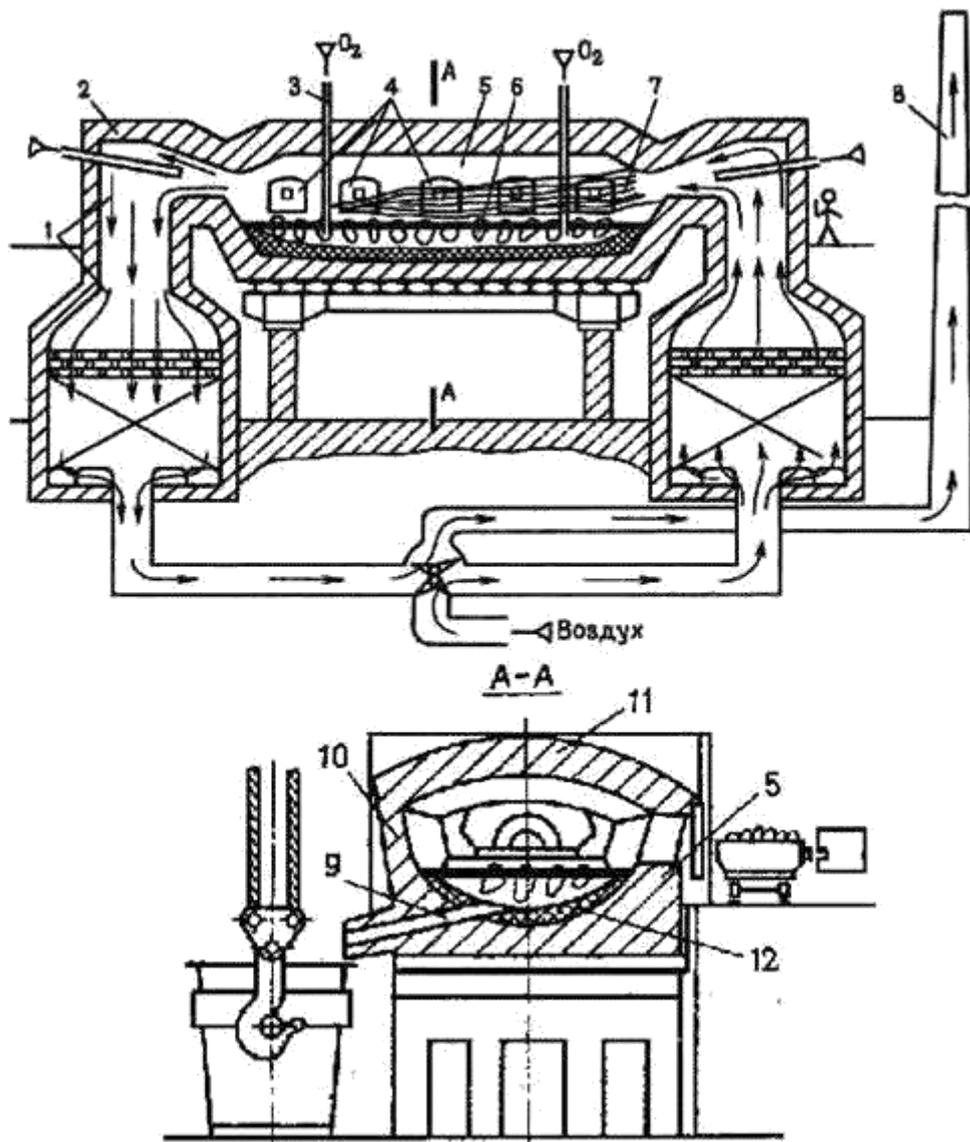


Рис.5.1. Схема мартеновской печи

Скрап-рудный процесс, при котором шихта состоит из жидкого чугуна (55...75 %), скрапа и железной руды, процесс применяют на металлургических заводах, имеющих доменные печи.

Футеровка печи может быть основной и кислой. Если в процессе плавки стали, в шлаке преобладают основные оксиды, то процесс называют *основным* мартеновским процессом, а если кислые – *кислым*.

Наибольшее количество стали производят скрап-рудным процессом в мартеновских печах с основной футеровкой.

В печь загружают железную руду и известняк, а после подогрева подают скрап. После разогрева скрапа в печь заливают жидкий чугун. В период плавления за счет оксидов руды и скрапа интенсивно окисляются примеси чугуна: кремний, фосфор, марганец и, частично, углерод. Оксиды образуют шлак с высоким содержанием оксидов железа и марганца (железистый шлак). После этого проводят период «кипения» ванны: в печь загружают железную руду и продувают ванну подаваемым по трубам 3 кислородом. В это время отключают подачу в печь топлива и воздуха и удаляют шлак.

Для удаления серы наводят новый шлак, подавая на зеркало металла известь с добавлением боксита для уменьшения вязкости шлака. Содержание CaO в шлаке возрастает, а FeO уменьшается.

В период «кипения» углерод интенсивно окисляется, поэтому шихта должна содержать избыток углерода. На данном этапе металл доводится до заданного химического состава, из него удаляются газы и неметаллические включения.

Затем проводят раскисление металла в два этапа. Сначала раскисление идет путем окисления углерода металла, при одновременной подаче в ванну раскислителей – ферромарганца, ферросилиция, алюминия. Окончательное раскисление алюминием и ферросилицием осуществляется в ковше, при выпуске стали из печи. После отбора контрольных проб сталь выпускают в ковш.

В основных мартеновских печах выплавляют стали углеродистые конструкционные, низко- и среднелегированные (марганцовистые, хромистые), кроме высоколегированных сталей и сплавов, которые получают в плавильных электропечах.

В кислых мартеновских печах выплавляют качественные стали. Применяют шихту с низким содержанием серы и фосфора.

Стали содержат меньше водорода и кислорода, неметаллических включений. Следовательно, кислая сталь имеет более высокие механические свойства, особенно ударную вязкость и пластичность, ее используют для особо ответственных деталей: коленчатых валов крупных двигателей, роторов мощных турбин, шарикоподшипников.

Основными технико-экономическими показателями производства стали в мартеновских печах являются:

- производительность печи – съём стали с 1 м^2 площади пода в сутки (т/м^2 в сутки), в среднем составляет 10 т/м^2 ; р
- расход топлива на 1 т выплавляемой стали, в среднем составляет 80 кг/т .

С укрупнением печей увеличивается их экономическая эффективность.

Производство стали в электропечах

Плавильные электропечи имеют преимущества по сравнению с другими плавильными агрегатами:

- а) легко регулировать тепловой процесс, изменяя параметры тока;
- б) можно получать высокую температуру металла,
- в) возможность создавать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу и вакуум, что позволяет раскислять металл с образованием минимального количества неметаллических включений.

Электропечи используют для выплавки конструкционных, высоколегированных, инструментальных, специальных сплавов и сталей.

Различают дуговые и индукционные электропечи.

Дуговая плавильная печь.

Схема дуговой печи показана на рис. 5.2.

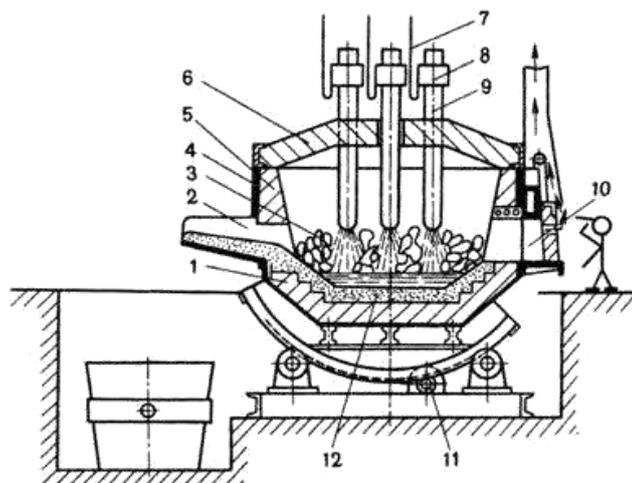


Рис.5.2. Схема дуговой плавильной печи

Дуговая печь питается трёхфазным переменным током. Имеет три цилиндрических электрода 9 из графитизированной массы, закреплённых в электрододержателях 8, к которым подводится электрический ток по кабелям 7. Между электродом и металлической шихтой 3 возникает электрическая дуга. Корпус печи имеет форму цилиндра. Снаружи он заключён в прочный стальной кожух 4, внутри футерован основным или кислым кирпичом 1. Плавильное пространство ограничено стенками 5, подиной 12 и сводом 6. Съёмный свод 6 имеет отверстия для электродов. В стенке корпуса рабочее окно 10 (для слива шлака, загрузки ферросплавов, взятия проб), закрытое при плавке заслонкой. Готовую сталь выпускают через сливное отверстие со сливным желобом 2. Печь опирается на секторы и имеет привод 11 для наклона в сторону рабочего окна или желоба. Печь загружают при снятом своде.

Вместимость печей составляет 0,5...400 тонн. В металлургических цехах используют электропечи с основной футеровкой, а в литейных – с кислой.

В основной дуговой печи осуществляется плавка двух видов:

- а) на шихте из легированных отходов (методом переплава),
- б) на углеродистой шихте (с окислением примесей).

Плавку на шихте из легированных отходов ведут без окисления примесей. После расплавления шихты из металла удаляют серу, наводя основной шлак, при необходимости науглероживают и доводят металл до заданного химического состава. Проводят диффузионное раскисление, подавая на шлак измельченные ферросилиций, алюминий, молотый кокс. Так выплавляют легированные стали из отходов машиностроительных заводов.

Плавку на углеродистой шихте применяют для производства конструкционных сталей. В печь загружают шихту: стальной лом, чушковый передельный чугун, электродный бой или кокс, для науглероживания металлов и известь. Опускают электроды, включают ток. Шихта под действием электродов плавится, металл накапливается в подине печи. Во время плавления шихты кислородом воздуха, оксидами шихты и окалины окисляются железо, кремний, фосфор, марганец, частично, углерод. Оксид кальция из извести и оксид железа образуют основной железистый шлак, способствующий удалению фосфора из металла. После нагрева до 1500...1540 °С загружают руду и известь, проводят

период «кипения» металла, происходит дальнейшее окисление углерода. После прекращения кипения удаляют шлак. Затем приступают к удалению серы и раскислению металла заданного химического состава. Раскисление производят осаждением и диффузионным методом. Для определения химического состава металла берут пробы и при необходимости вводят в печь ферросплавы для получения заданного химического состава. Затем выполняют конечное раскисление алюминием и силикокальцием, выпускают сталь в ковш.

При выплавке легированных сталей в дуговых печах в сталь вводят легирующие элементы в виде ферросплавов.

В дуговых печах выплавляют высококачественные углеродистые стали – конструкционные, инструментальные, жаростойкие и жаропрочные.

Индукционные тигельные плавильные печи

Выплавляют наиболее качественные коррозионно-стойкие, жаропрочные и другие стали и сплавы.

Вместимость от десятков килограммов до 30 тонн.

Схема индукционной тигельной печи представлена на рис 5.3.

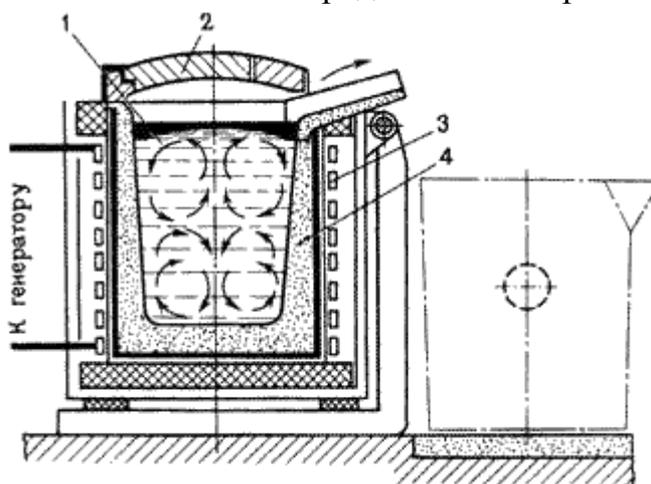


Рис. 5.3. Схема индукционной тигельной печи

Печь состоит из водоохлаждаемого индуктора 3, внутри которого находится тигель 4 (основные или кислые огнеупорные материалы) с металлической шихтой, через индуктор от генератора высокой частоты проходит однофазный переменный ток повышенной частоты (500...2000 Гц).

При пропускании тока через индуктор в металле 1, находящемся в тигле, индуцируются мощные вихревые токи, что обеспечивает нагрев и плавление металла. Для уменьшения потерь тепла, печь имеет съёмный свод 2.

Тигель изготавливают из кислых (кварцит) или основных (магнезитовый порошок) огнеупоров. Для выпуска плавки печь наклоняют в сторону сливного жёлоба.

Под действием электромагнитного поля индуктора при плавке происходит интенсивная циркуляция жидкого металла, что способствует ускорению химических реакций, получению однородного по химическому составу металла, быстрому всплыванию неметаллических включений, выравниванию температуры.

В индукционных печах выплавляют сталь и сплавы из легированных отходов *методом переплава*, или из чистого шихтового железа и скрапа с добавкой ферросплавов *методом сплавления*.

После расплавления шихты на поверхность металла загружают шлаковую смесь для уменьшения тепловых потерь металла и уменьшения угара легирующих элементов, защиты его от насыщения газами.

При плавке в кислых печах, после расплавления и удаления плавильного шлака, наводят шлак из боя стекла (SiO_2). Для окончательного раскисления перед выпуском металла в ковш вводят ферросилиций, ферромарганец и алюминий.

В основных печах раскисление проводят смесью из порошкообразной извести, кокса, ферросилиция, ферромарганца и алюминия.

В основных печах выплавляют высококачественные легированные стали с высоким содержанием марганца, титана, никеля, алюминия, а в печах с кислой футеровкой – конструкционные, легированные другими элементами стали.

В печах можно получать стали с незначительным содержанием углерода и безуглеродистые сплавы, так как нет науглероживающей среды.

При вакуумной индукционной плавке индуктор, тигель, дозатор шихты и изложницы, помещают в вакуумные камеры. Получают сплавы высокого качества с малым содержанием газов, неметаллических включений и сплавы, легированные любыми элементами.

Разливка стали

Из плавильных печей сталь выпускают в ковш, который мостовым краном переносят к месту разливки стали. Из ковша сталь разливают в изложницы или кристаллизаторы машины для непрерывного литья заготовок. В изложницах или кристаллизаторах сталь затвердевает и получают слитки, которые подвергаются прокатке, ковке.

Изложницы – чугунные формы для изготовления слитков.

Изложницы выполняют с квадратным, прямоугольным, круглым и многогранным поперечными сечениями.

Слитки с квадратным сечением переделывают на сортовой прокат: двутавровые балки, швеллеры, уголки. Слитки прямоугольного сечения – на листы. Слитки круглого сечения используются для изготовления труб, колёс. Слитки с многогранным сечением применяют для изготовления поковок.

Спокойные и кипящие углеродистые стали разливают в слитки массой до 25 тонн, легированные и высококачественные стали – в слитки массой 0,5...7 тонн, а некоторые сорта высоколегированных сталей – в слитки до нескольких килограммов.

Сталь разливают в изложницы сверху (рис. 5.4.а), снизу (сифоном) (рис.5.4.б) и на машинах непрерывного литья (рис.5.5).

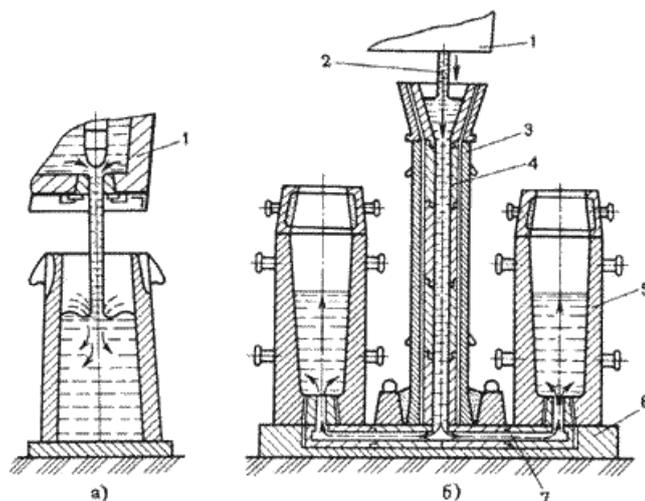


Рис.5.4. Разливка стали в изложницы
а – сверху; б – снизу (сифоном)

В изложницы сверху сталь разливают непосредственно из ковша 1. При этом исключается расход металла на литники, упрощается подготовка оборудования к разливке. К недостаткам следует отнести менее качественную поверхность слитков, из-за наличия пленок оксидов от брызг металла, затвердевающих на стенках изложницы.

Применяется для разливки углеродистых сталей.

При *сифонной разливке* одновременно заполняются несколько изложниц (4...60). Изложницы устанавливаются на поддоне 6, в центре которого располагается центральной литник 3, футерованный огнеупорными трубками 4, соединённый каналами 7 с изложницами. Жидкая сталь 2 из ковша 1 поступает в центральной литник и снизу плавно, без разбрызгивания наполняет изложницу 5.

Поверхность слитка получается чистой, можно разливать большую массу металла одновременно в несколько изложниц.

Используют для легированных и высококачественных сталей.

Непрерывная разливка стали состоит в том, что жидкую сталь из ковша 1 через промежуточное разливочное устройство 2 непрерывно подают в водоохлаждаемую изложницу без дна – кристаллизатор 3, из нижней части которого вытягивается затвердевающий слиток 5.

Перед заливкой металла в кристаллизатор вводят затравку – стальную штангу со сменной головкой, имеющей паз в виде ласточкиного хвоста, которая в начале заливки служит дном кристаллизатора. Вследствие интенсивного охлаждения жидкий металл у стенок кристаллизатора и на затравке затвердевает, образуется корка, соединяющая металл с затравкой. Затравка движется вниз при помощи тяговых роликов 6, постепенно вытягивая затвердевающий слиток из кристаллизатора. После прохождения тяговых роликов 6, затравку отделяют. Скорость вытягивания составляет в среднем 1 м/мин. Окончательное затвердевание в сердцевине происходит в результате вторичного охлаждения водой из брызгал 4. Затем затвердевший слиток попадает в зону резки, где его разрезают газовым резаком 7, на куски заданной длины. Слитки имеют плотное строение и мелкозернистую структуру, отсутствуют усадочные раковины.

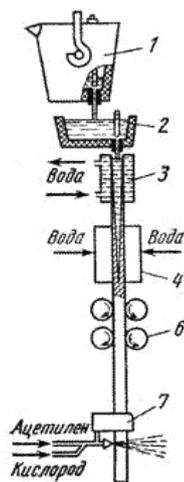


Рис.5.5. Схема непрерывной разливки стали

Способы повышения качества стали

Улучшить качество металла можно уменьшением в нём вредных примесей, газов, неметаллических включений. Для повышения качества металла используют: обработку синтетическим шлаком, вакуумную дегазацию металла, электрошлаковый переплав (ЭШП), вакуумно-дуговой переплав (ВДП), переплав металла в электронно-дуговых и плазменных печах и т. д.

Вакуумная дегазация проводится для уменьшения содержания в металле газов и неметаллических включений.

Вакуумирование стали проводят в ковше, при переливе из ковша в ковш, при заливке в изложницу.

Для вакуумирования в ковше ковш с жидкой сталью помещают в камеру, закрывающуюся герметичной крышкой. Вакуумными насосами создают разрежение до остаточного давления 0,267...0,667 кПа. При понижении давления из жидкой стали выделяются водород и азот. Всплывающие пузырьки газов захватывают неметаллические включения, в результате чего содержание их в стали снижается. Улучшаются прочность и пластичность стали.

Электрошлаковый переплав (ЭШП) применяют для выплавки высококачественных сталей для подшипников, жаропрочны сталей.

Схема электрошлакового переплава представлена на рис.3.5.

Переплаву подвергается выплавленный в дуговой печи и прокатанный на пруток металл. Источником теплоты является шлаковая ванна, нагреваемая электрическим током. Электрический ток подводится к переплавляемому электроду 1, погруженному в шлаковую ванну 2, и к поддону 9, установленному в водоохлаждаемом кристаллизаторе 7, в котором находится затравка 8. Выделяющаяся теплота нагревает ванну 2 до температуры свыше 1700°С и вызывает оплавление конца электрода. Капли жидкого металла 3 проходят через шлак и образуют под шлаковым слоем металлическую ванну 4. Перенос капель металла через основной шлак способствует удалению из металла серы, неметаллических включений и газов. Металлическая ванна пополняется путём расплавления электрода, и под воздействием кристаллизатора она постепенно

Расходуемый электрод 3 закрепляют на водоохлаждаемом штоке 2 и помещают в корпус печи 1 и далее в медную водоохлаждаемую изложницу 6. Из корпуса печи откачивают воздух до остаточного давления 0,00133 кПа. При подаче напряжения между расходуемым электродом 3 (катодом) и затравкой 8 (анодом) возникает дуга. Выделяющаяся теплота расплавляет конец электрода. Капли жидкого металла 4, проходя зону дугового разряда дегазируются, заполняют изложницу и затвердевают, образуя слиток 7. Дуга горит между электродом и жидким металлом 5 в верхней части слитка на протяжении всей плавки. Охлаждение слитка и разогрев жидкого металла создают условия для направленного затвердевания слитка. Следовательно, неметаллические включения сосредоточиваются в верхней части слитка, усадочная раковина мала. Слиток характеризуется высокой равномерностью химического состава, повышенными механическими свойствами. Изготавливают детали турбин, двигателей, авиационных конструкций. Масса слитков достигает 50 тонн.

ЛЕКЦИЯ №6

МЕТАЛУГИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ. МЕДЬ, АЛЮМИНИЙ

Производство цветных металлов

Производство меди

Медь в природе находится в виде сернистых соединений (CuS, Cu_2S), оксидов (CuO, Cu_2O), гидрокарбонатов ($Cu(OH)_2$), углекислых соединений ($CuCO_3$) в составе сульфидных руд и самородной металлической меди.

Наиболее распространенные руды – медный колчедан и медный блеск, содержащие 1...2 % меди.

90 % первичной меди получают пирометаллургическим способом, 10 % - гидromеталлургическим.

Гидрометаллургический способ – получение меди путём её выщелачивания слабым раствором серной кислоты и последующего выделения металлической меди из раствора.

Получение меди *пирометаллургическим способом* состоит из обогащения, обжига, плавки на штейн, продувки в конвертере, рафинирования.

Обогащение медных руд производится методом флотации и окислительного обжига.

Метод флотации основан на использовании различной смачиваемости медьсодержащих частиц и пустой породы. Позволяет получать медный концентрат, содержащий 10...35 % меди.

Медные руды и концентраты, содержащие большие количества серы, подвергаются *окислительному обжигу*. В процессе нагрева концентрата или руды до 700...800 °С в присутствии кислорода воздуха сульфиды окисляются и содержание серы снижается почти вдвое против исходного. Обжигают только бедные (с содержанием меди 8...25 %) концентраты, а богатые (25...35 % меди) плавят без обжига.

После обжига руда и медный концентрат подвергаются *плавке на штейн*, представляющий собой сплав, содержащий сульфиды меди и железа (Cu_2S, FeS). Штейн содержит 20...50 % меди, 20...40 % железа, 22...25 % серы, около 8 % кислорода и примеси никеля, цинка, свинца, золота, серебра. Чаще всего плавка производится в пламенных отражательных печах. Температура в зоне плавки 1450 °С.

Полученный медный штейн, с целью окисления сульфидов и железа, подвергают продувке сжатым воздухом в горизонтальных конвертерах с боковым дутьём. Образующиеся окислы переводят в шлак, а серу – в SO_2 . Тепло в конвертере выделяется за счёт протекания химических реакций без подачи топлива. Температура в конвертере составляет 1200...1300 °С. Таким образом, в конвертере получают *черновую медь*, содержащую 98,4...99,4 % меди, 0,01...0,04 % железа, 0,02...0,1 % серы и небольшое количество никеля, олова, сурьмы, серебра, золота. Эту медь сливают в ковш и разливают в стальные изложницы или на разливочной машине.

Черновую медь рафинируют для удаления вредных примесей, проводят *огневое*, а затем *электролитическое рафинирование*.

Сущность *огневого рафинирования* черновой меди заключается в окислении примесей, имеющих большее сродство к кислороду, чем медь, удалении их с газами и переводе в шлак. После огневого рафинирования получают медь чистотой 99...99,5%. Её разливают в изложницы и получают чушки для дальнейшей выплавки сплавов (бронзы и латуни) или слитки для электролитического рафинирования.

Электролитическое рафинирование проводят для получения чистой от примесей меди (99,95% Cu).

Электролиз проводят в ваннах, где анод изготавливают из меди огневого рафинирования, а катод – из тонких листов чистой меди. Электролитом служит водный раствор $CuSO_4$ (10...16%) и H_2SO_4 (10...16%).

При пропускании постоянного тока анод растворяется, медь переходит в раствор, а на катодах разряжаются ионы меди, осаждаясь на них слоем чистой меди.

Примеси осаждаются на дно ванны в виде шлака, который идёт на переработку с целью извлечения металлов.

Катоды выгружают через 5...12 дней, когда их масса достигнет 60...90 кг. Их тщательно промывают, а затем переплавляют в электропечах.

Медь по чистоте подразделяется на марки: М0 (99,95% Cu), М1 (99,9%), М2 (99,7%), М3 (99,5%), М4 (99%).

Производство магния

Для получения магния наибольшее распространение получил электролитический способ, сущность которого заключается в получении чистых безводных солей магния, электролизе этих солей в расплавленном состоянии и рафинировании металлического магния.

Основным сырьём для получения магния являются: карналлит, магнезит, доломит, бишофит. Наибольшее количество магния получают из карналлита.

Сначала карналлит обогащают и обезвоживают. Безводный карналлит используют для приготовления электролита.

Электролиз осуществляют в электролизере, футерованном шамотным кирпичом. Анодами служат графитовые пластины, а катодами – стальные пластины. Электролизер заполняют расплавленным электролитом состава 10 % $MgCl_2$, 45 % $CaCl_2$, 30 % $NaCl$, 15 % KCl , с небольшими добавками NaF и CaF_2 . Такой состав электролита необходим для понижения температуры его плавления ($720^\circ C$). Для электролитического разложения хлористого магния через электролит пропускают ток. В результате образуются ионы хлора, которые движутся к аноду. Ионы магния движутся к катоду и после разряда выделяются на поверхности, образуя капельки жидкого черного магния. Магний имеет меньшую плотность, чем электролит, поэтому он всплывает на поверхность, откуда его периодически удаляют вакуумным ковшом.

Черновой магний содержит 5 % примесей, поэтому его рафинируют переплавкой с флюсами. Для этого черновой магний и флюс, состоящий из $MgCl_2$, KCl , CaF_2 , $NaCl$, $CaCl_2$, нагревают в печи до температуры $700...750^\circ C$ и перемешивают. При этом неметаллические примеси переходят в шлак. Затем печь охлаждают до температуры $670^\circ C$ и магний разливают в изложницы на чушки.

Производство алюминия

Алюминий (*Aluminium*) - химический элемент третьей группы периодической системы. Атомный номер 13, атомная масса 26,9815. Обозначается латинскими буквами **Al**. Это серебристо-белый металл, легкий (Плотность= $2,7 \text{ г/см}^3$), легкоплавкий ($t_{пл} = 660,4^\circ C$), пластичный, легко вытягивается в проволоку и фольгу. Электропроводность алюминия довольно высока и уступает только серебру (**Ag**) и меди (**Cu**) (в 2,3 раза больше чем у меди)

Алюминий находится практически везде на земном шаре так как его оксид (Al_2O_3) составляет основу глинозема. Алюминий в природе встречается в соединениях - его основные минералы:

- *боксит* - смесь минералов диаспора, бемита $AlO(OH)$, гидраргиллита $Al(OH)_3$ и оксидов других металлов - *алюминиевая руда*;
- *алунит* - $(Na,K)_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3$;
- *нефелин* - $(Na,K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$;
- *корунд* - Al_2O_3 - прозрачные кристаллы;
- *полевошпат (ортоклаз)* - $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$;
- *каолинит* - $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ - важнейшая составляющая часть глины и другие алюмосиликаты, входящие в состав глин.

И хотя содержание его в земной коре 8,8% (для сравнения, например, железа в земной коре 4,65% - в два раза меньше), а по распространенности занимает третье место после кислорода (**O**) кремния (**Si**) в свободном состоянии впервые был получен в 1825 году Х. К. Эрстедом.

Особенности восстановления активных металлов.

Большинство металлов добывают из их соединений с помощью восстановительных процессов. Так, способы получения железа, олова, свинца, меди и других металлов средней активности основаны на восстановлении руд углеродом при высоких

температурах. Для получения металлов высокой активности, такие способы неприменимы из-за большой скорости окисления этих металлов кислородом, содержащимся в реакционной газовой смеси.

Промышленное производство многих активных металлов на электролизе расплавленных сред. Электролизу подвергается либо соль металла, либо его окисел, растворенный в солевом расплаве. Состав расплава подбирают таким, чтобы в нем не было катионов, разряжающихся при меньшем напряжении, чем катион получаемого металла.

Свойства и получение активных металлов

Электролиз расплавленных солей - сравнительно молодой металлургический процесс. Его разработка и промышленное освоение стали возможными лишь при уровне науки и техники, достигнутом только во второй половине XIX века. Поэтому история применения металлов, восстанавливаемых электролизом расплавов, насчитывает не более ста лет (если не принимать во внимание малые количества металлов, получаемых ранее в лабораториях ученых).

Завод по производству алюминия

Производство этих металлов росло и продолжает расти очень быстро. Алюминия сейчас производят в мире больше, чем меди или цинка, магния - почти столько же, сколько олова или никеля. По масштабам производства наиболее применяемые в наше время металлы располагаются в такой последовательности: железо, алюминий, медь, цинк, свинец, никель, олово, магний, титан. Но уже в ближайшие годы произойдут изменения в этом ряду, так как по темпам развития производства магний, и особенно титан, значительно опережают стоящие впереди металлы. Только железо, по-видимому, надолго сохранит место главного металла человечества. Несмотря на быстрое развитие алюминиевой промышленности, разница между выпуском алюминия и железа еще очень велика.

Руды алюминия

По содержанию в земной коре алюминий занимает первое место среди металлов (7,45%), а вместе с кислородом и кремнием составляет 82,58% массы земной коры. Он входит в состав около 250 минералов, 40% которых относится к алюмосиликатам.

Алюминиевой рудой называют горную породу с высоким содержанием окиси алюминия в доступной для извлечения форме, образующую крупные залежи. Ниже приведены основные рудообразующие минералы алюминия, содержащие Al_2O_3 , %:

Диаспор, бемит $AlO(OH)$	85,0
Гиббсит (гидраргиллит) $Al(OH)_3$	65,4
Кианит, силлиманит $Al_2O_3 \cdot SiO_2$	63,2
Алунит $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3$	37,0
Нефелин $(Na, K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	33,2
Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	39,5

Наибольшее значение для производства глинозема имеют руды: бокситы, нефелины, алуниты, кианиты и каолины.

Бокситы - горная порода, состоящая из гидроокисей алюминия, окислов железа, кремния и титана с примесями других соединений минерального и органического происхождения. В зависимости от того, какие гидроокиси алюминия преобладают, бокситы

подразделяются на моногидратные (бемитовые и диаспоровые) и тригидратные (гиббситовые).

Нефелины менее богаты окисью алюминия, чем бокситы, но содержат щелочи

Na_2O и K_2O , что позволяет вести комплексную переработку этого сырья. Важнейшие месторождения нефелиновых руд - Кукисвумгорское на Кольском полуострове, Кия-Шалтырское в Кемеровской области и Ужурское в Красноярском крае.

Алуниты благодаря содержащимся в них сернокислым солям представляют собой ценное комплексное сырье, при переработке которого получают глинозем, серную кислоту, сульфаты калия и алюминия, квасцы и некоторые другие продукты.

Производство глинозема

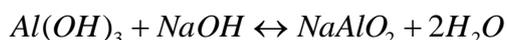
Свойства глинозема.

Алюминий образует с кислородом три окиси: Al_2O , AlO и Al_2O_3 . В субокиси Al_2O он одновалентен, в Al_2O_3 - трехвалентен, а в AlO проявляет смешанную валентность. Субсоединения Al_2O и AlO могут быть получены при высоких температурах восстановлением или термическим разложением Al_2O_3 но практического значения эти процессы пока не имеют.

Сырьем для производства алюминия служит глинозем - порошкообразная окись алюминия, состоящая из двух разновидностей (модификаций) окисла: $\alpha - Al_2O_3$ (альфа-глинозем) и $\gamma - Al_2O_3$ (гамма-глинозем). Альфа-окись алюминия - наиболее устойчивая форма, встречается в природе в виде минерала корунда. Он имеет прочную структуру, большую твердость и химическую стойкость: температура плавления корунда $(2054 \pm 6)^\circ C$. Гамма-глинозем получается при обезвоживании гидроокиси алюминия, хорошо взаимодействует с растворами щелочей и кислот, обладает высокой гигроскопичностью. Даже нагретый до $1000^\circ C$ гамма глинозем удерживает около 1% воды, и лишь продолжительная выдержка при $1200^\circ C$ полностью его обезвоживает. Гамма-глинозем при этом превращается в корунд

Способ Байера

Производство глинозема по способу Байера состоит в обработке боксита щелочным раствором при высокой температуре, получении алюминатного раствора и нерастворимого осадка - красного шлама, отделения этого осадка от раствора и выделении из раствора гидроокиси алюминия в присутствии затравки - свежесажженной $Al(OH)_3$. Сущность процесса Байера можно выразить следующей обратимой химической реакцией:



При протекании реакции слева направо идет процесс извлечения глинозема в алюминатный раствор, при протекании реакции справа налево - разложение раствора с выделением гидроокиси алюминия.

Электролит алюминиевой ванны

Состав электролита.

Основой электролита электролизеров для получения алюминия служит раствор глинозема в расплавленном криолите. Эффективное извлечение алюминия из такого раствора с помощью электролиза оказалось возможным благодаря удачному сочетанию

свойств расплавленного криолита как растворителя.

Растворимость глинозема в криолите при 950°C (обычная температура процесса) довольно высока (15%). Растворение глинозема сопровождается его ионизацией, протекающей с отщеплением иона алюминия Al^{3+} . Криолитоглиноземный расплав не содержит соединений металлов, имеющих меньшее напряжение разложения, чем Al_2O_3 , не взаимодействует химически с углеродистыми материалами, не разлагается при температурах электролиза, обладает хорошей электропроводностью и умеренной летучестью.

Конструкции электролизеров

Алюминиевые электролизеры классифицируют по мощности и по конструкции. Мощность электролизеров (имеется в виду токовая нагрузка, на которую они рассчитаны) может быть небольшой (30-40 кА), средней (50-90 кА) и большой (100-250 кА). По конструкции электролизеры различаются главным образом устройством

анода и анодного токоподвода. Выделяются три разновидности конструкции:

- 1) электролизеры с самообжигающимся анодом и боковым подводом тока к нему;
- 2) электролизеры с самообжигающимся анодом и верхним подводом тока к нему;
- 3) электролизеры с обожженными анодами.

Выливка алюминия

Суточная производительность современных электролизеров средней мощности составляет 350-600 кг, а электролизеров средней мощности 700 - 17—кг. На большинстве отечественных заводов, применяющих ванны средней мощности, принят двухдневный график выливки. При более частой выливке возрастают трудовые затраты на эту операцию, а удлинение периода между выливками ведет к резким колебаниям теплового режима электролизеров и снижению их показателей. Ванны большой мощности выливают ежедневно.

Структура себестоимости алюминия-сырца

Статья затрат	В цехе:	
	с верхним токоотводом	с обожженными анодами
Глинозем	43,0	43,7
Фтористые соли	3,7	3,1
Обожженные аноды за вычетом возврата огарков	-	11,2
Анодная масса	8,8	-
Монтаж и демонтаж анодов	-	1,0
Энергозатраты	25,3	24,3
Зарплата	6,2	6,0
Амортизация	6,0	5,0
Цеховые расходы	7,0	
Итого:	100,0	100,0

Получение алюминия особой чистоты

Для производства полупроводниковых материалов требуется алюминий чистотой 99,9999 - 99,99999% Al, недостижимой при электролитическом рафинировании. Глубокую очистку алюминия осуществляют зонной перекристаллизацией или дистилляцией через субфторид.

Очистка зонной перекристаллизацией основана на том, что при кристаллизации примеси металлов распределяются неравномерно между жидким и твердым алюминием. При температуре затвердевания алюминия (660°C), когда в жидком алюминии растут кристаллы, содержание в них железа, кремния, меди, цинка, никеля, магния значительно меньше, чем в жидком металле.

ЛЕКЦИЯ №7,8

ЛИТЕЙНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ОБЪЕМНЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ И ИХ ИДЕНТИФИКАЦИИ. ПРЕСС-ФОРМЫ, ТРЕБОВАНИЯ МАТЕРИАЛЫ, СОСТАВ И ПОДГОТОВКИ

Выбор метода и способа получения заготовки

Необходимость экономии материальных ресурсов предъявляет высокие требования к рациональному выбору заготовок, к уровню их технологичности, в значительной мере определяющей затраты на технологическую подготовку производства, себестоимость, надёжность и долговечность изделий.

Правильно выбрать способ получения заготовки – означает определить рациональный технологический процесс её получения с учётом материала детали, требований к точности её изготовления, технических условий, эксплуатационных характеристик и серийности выпуска.

Машиностроение располагает большим количеством способов получения деталей. Это многообразие, с одной стороны, позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики машин за счёт использования свойств исходного материала, с другой – создаёт трудности при выборе рационального, экономичного способа получения детали.

Особенно важно правильно выбрать вид заготовки, назначить наиболее рациональный технологический процесс её изготовления в условиях автоматизированного производства, когда размеры детали при механической обработке получают «автоматически» на предварительно настроенных агрегатных станках или станках с числовым программным управлением (ЧПУ). В этом случае недостаточные припуски так же вредны, как и излишние, а неравномерная твёрдость материала или большие уклоны на заготовке могут вызвать значительные колебания в допусках размеров готовой детали.

Поэтому очень важен экономически и технологически обоснованный выбор вида заготовки для данного производства.

Максимальное приближение геометрических форм и размеров заготовки к размерам и форме готовой детали – главная задача заготовительного производства.

Заданные конструктором геометрия, размеры и марка материала детали во многом определяют технологию изготовления. Таким образом, выбор вида заготовки происходит в процессе конструирования, так как при расчёте деталей на прочность, износостойкость или при учете других показателей эксплуатационных характеристик конструктор исходит из физико-механических свойств применяемого материала с учётом влияния способа получения заготовки.

Факторы, влияющие на себестоимость производства в машиностроении, делятся на три группы:

1-я группа – конструктивные факторы, т.е. конструктивное решение самой детали, обеспечивающее приемлемость её для изготовления обработкой давлением, литьем, сваркой; выбор марки материала и технологических условий;

2-я группа – производственные факторы, т.е. характер и культура производства, технологическая оснащённость, организационные и технологические уровни производства;

3-я группа – технологические факторы, характеризующие способ формообразования заготовок, выбор самой заготовки, оборудования и технологического процесса получения детали.

То, насколько полно в заготовке учтено влияние факторов первой и второй групп, позволяет судить о *технологичности заготовки*.

Под *технологичностью заготовки* принято понимать, насколько данная заготовка соответствует требованиям производства и обеспечивает долговечность и надёжность работы детали при эксплуатации.

Выпуск технологичной заготовки в заданных масштабах производства обеспечивает минимальные производственные затраты, себестоимость, трудоемкость и материалоемкость.

Третья группа факторов важна, когда детали могут быть получены одним или несколькими способами литья или обработки давлением, например, фланцы, тройники, шестерни. Однако при литье структура металла, а следовательно, и механические свойства, ниже, чем при обработке металлов давлением. Также, особенно при литье в кокиль или под давлением, выше вероятность возникновения литейных напряжений и наличия пористости.

При штамповке, создавая направленную структуру, можно увеличить эксплуатационные свойства детали. В то же время заданный параметр шероховатости поверхности и точность размеров могут быть обеспечены в обоих случаях.

Таким образом, при выборе способов получения заготовки в первую очередь следует учитывать основные факторы (себестоимость и требования к качеству), ориентироваться на то, что в конкретном случае является определяющим.

В качестве другого примера можно рассмотреть крупногабаритные детали значительной массы, требующие для своего изготовления уникального оборудования большой мощности. Такие детали целесообразно изготавливать сварными. Это позволяет сократить длительность цикла изготовления, повысить качество металла за счет применения слитков меньшей массы с меньшим

количеством литейных дефектов, но при этом уменьшается коэффициент использования металла, увеличивается трудоемкость.

Оптимальное решение при выборе заготовок может быть найдено только при условии комплексного анализа влияния на себестоимость всех факторов, при обязательном условии положительного влияния способа получения заготовки на качество изделия.

В себестоимости изготовления детали значительную долю составляют затраты на материал (около 60 %). Поэтому пути снижения себестоимости целесообразно искать в снижении расхода материала.

Технологичность детали с определенной степенью приближения оценивается следующими показателями:

- коэффициент выхода годного ($K_{в.г.}$);
- весовой точности ($K_{в.т.}$);
- использования металла ($K_{и.м.}$).

$K_{в.г.}$ – характеризует расход металла в заготовительном цехе, размер брака, технологических отходов, определяется по формуле:

$$K_{в.г.} = \frac{M_2}{M_1}$$

где: M_1 – масса исходного металла; M_2 – масса заготавливаемого металла.

$K_{в.т.}$ – отражает степень приближения формы и размеров заготовки к форме и размерам детали, т.е. характеризует объем механической обработки, определяется по формуле:

$$K_{в.т.} = \frac{M_3}{M_2}$$

где: M_3 – масса готовой детали.

$K_{и.м.}$ – отражает общий расход металла на изготавливаемую деталь, определяется по формуле:

$$K_{и.м.} = K_{в.г.} \times K_{в.т.} = \frac{M_3}{M_1}$$

Общие принципы выбора заготовки

Наиболее широко для получения заготовок в машиностроении применяют следующие методы: литье, обработка металла давлением и сварка, а также комбинация этих методов.

Каждый из методов содержит большое число способов получения заготовок.

Метод – это группа технологических процессов, в основе которых лежит единый принцип формообразования.

Литье – получение заготовок путем заливки расплавленного металла заданного химического состава в литейную форму, полость которой имеет конфигурацию заготовки.

Обработка давлением – технологические процессы, которые основаны на пластическом формоизменении металла.

Сварка – технологический процесс получения неразъемных соединений из металлов и сплавов в результате образования атомно-молекулярных связей между частицами соединяемых заготовок.

При выборе метода необходимо ориентироваться в первую очередь на материал и требования к нему с точки зрения обеспечения служебных свойств изделия (литье – чугун, стали с обозначением Л).

Особо ответственные детали, к которым предъявляются высокие требования по размеру зерна, направлению волокон, а также по уровню механических свойств, всегда следует изготавливать из заготовок, полученной обработкой давлением.

Выбор способа получения заготовки сложная задача.

Способ получения заготовки должен быть экономичным, обеспечивающим высокое качество детали, производительным, нетрудоемким.

Основные факторы, влияющие на выбор способа получения заготовки.

Характер производства.

Для мелкосерийного и единичного производства характерно использование в качестве заготовок горячекатаного проката, отливок, полученных в песчано-глинистых формах, поковок, полученных ковкой.

Это обуславливает большие припуски, значительный объем последующей механической обработки, повышение трудоемкости.

В условиях крупносерийного и массового производств рентабельны способы получения заготовок: горячая объемная штамповка; литье в кокиль, под давлением, в оболочковые формы по выплавляемым моделям.

Применение этих способов позволяет значительно сократить припуски, снизить трудоемкость изготовления детали.

Повышение точности формообразующих процессов, выбор наиболее точных и прогрессивных способов получения заготовок на базе увеличения серийности производства является одним из важнейших резервов повышения технического уровня производства.

Материалы и требования, предъявляемые к качеству детали

Материалы должны обладать необходимым запасом определенных технологических свойств – ковкостью, штампуемостью, жидкотекучестью, свариваемостью, обрабатываемостью.

Для деформируемых материалов необходимым технологическим свойством является технологическая пластичность. Особо жесткие требования по технологической пластичности предъявляются к сплавам, из которых детали получают холодной обработкой давлением – выдавливанием, вытяжкой, гибкой, формовкой.

Если металл обладает низкой жидко текучестью, высокой склонностью к усадке, то не рекомендуется применять литье в кокиль, под давлением, так как из-за низкой податливости металлической формы могут возникнуть литейные напряжения, коробление отливки, трещины. Целесообразно применять оболочковое литье и литье в песчано-глинистые формы.

Для ответственных, тяжело нагруженных деталей (валы, шестерни, зубчатые колеса), для которых предъявляются определенные требования к качеству металла и к физико-механическим свойствам – целесообразно использовать поковки, так

как в процессе деформирования создается мелкозернистая, направленная волокнистая структура, значительно повышающая физико-механические свойства материала.

Размеры, масса и конфигурация детали.

Удельная стоимость отливок и поковок растет с уменьшением их массы. Закономерность общая для всех способов получения заготовок и деталей, так как трудоемкость формообразования определяют общей площадью поверхностей, подлежащих обработке.

Размеры детали часто играют решающую роль. При литье по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением размеры отливки ограничены технологическими возможностями оборудования и инструмента.

Способом горячей объемной штамповки возможно получение поковок до 1000 кг.

Качество поверхности заготовок, обеспечение заданной точности.

Использование точных способов обеспечивает достаточную чистоту поверхности и высокую точность заготовок.

Совершенствованиековки и штамповки обеспечивают параметры шероховатости и точность размеров, соответствующих механической обработке и даже финишных операций.

Калибровка, холодное выдавливание обеспечивают получение готовых деталей (заклепки, гайки, болты).

Возможности имеющегося оборудования.

Учитывают при изготовлении заготовок способами центробежного литья, литья под давлением, горячей объемной штамповкой. Иногда это является определяющим моментом.

Например, наличие в кузнечном цехе ротационно-ковочных машин позволяет получить ступенчатые заготовки практически без механической обработки. То же – при наличии механических прессов двойного действия или гидравлических многоступенчатых прессов.

Мощность кузнечно-штамповочного оборудования определяет номенклатуру изготовления деталей.

ЛЕКЦИЯ №9

Модельный комплект. Технология изготовления стержней.

Общие сведения о литейном производстве Современное состояние и роль литейного производства в машиностроении

Теория и практика технологии литейного производства на современном этапе позволяет получать изделия с высокими эксплуатационными свойствами. Отливки надежно работают в реактивных двигателях, атомных энергетических установках и других машинах ответственного назначения. Они используются в изготовлении строительных конструкций, металлургических агрегатов, морских судов, деталей бытового оборудования, художественных и ювелирных изделий.

Современное состояние литейного производства определяется совершенствованием традиционных и появлением новых способов литья, непрерывно повышающимся уровнем механизации и автоматизации технологических процессов, специализацией и централизацией производства, созданием научных основ проектирования литейных машин и механизмов.

Важнейшим направлением повышения эффективности является улучшение качества, надежности, точности и шероховатости отливок с максимальным приближением их к форме готовых изделий путем внедрения новых технологических процессов и улучшения качества литейных сплавов, устранение вредного воздействия на окружающую среду и улучшения условий труда.

Литье является наиболее распространенным методом формообразования.

Преимуществами литья являются изготовление заготовок с наибольшими коэффициентами использования металла и весовой точности, изготовление отливок практически неограниченных габаритов и массы, получение заготовок из сплавов, неподдающихся пластической деформации и трудно обрабатываемых резанием (магниты).

Классификация литых заготовок

По условиям эксплуатации, независимо от способа изготовления, различают отливки:

- общего назначения – отливки для деталей, не рассчитываемых на прочность
- ответственного назначения – отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при статических нагрузках;
- особо ответственного назначения - отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при циклических и динамических нагрузках.

В зависимости от способа изготовления, массы, конфигурации поверхностей, габаритного размера, толщины стенок, количества стержней, назначения и особых технических требований отливки делят на 6 групп сложности.

Первая группа характеризуется гладкими и прямолинейными наружными поверхностями с наличием невысоких усиливающих ребер, буртов, фланцев, отверстий. Внутренние поверхности простой формы. *Типовые детали* – крышки, рукоятки, диски, фланцы, муфты, колеса вагонеток, маховики для вентиля и т.д.

Шестая группа – отливки с особо сложными закрытыми коробчатыми и цилиндрическими формами. На наружных криволинейных поверхностях под различными углами пересекаются ребра, кронштейны и фланцы. Внутренние полости имеют особо сложные конфигурации с затрудненными выходами на поверхность отливки. *Типовые детали* – станины специальных МРС, сложные корпуса центробежных насосов, детали воздуходувок, рабочие колеса гидротурбин.

В зависимости от способа изготовления их габаритных размеров и типа сплавов ГОСТ 26645-85 устанавливает 22 класса точности.

Литейные сплавы

Требования к материалам, используемым для получения отливок:

Состав материалов должен обеспечивать получение в отливке заданных физико-механических и физико-химических свойств; свойства и структура должны быть стабильными в течение всего срока эксплуатации отливки.

Материалы должны обладать хорошими литейными свойствами (высокой жидкотекучестью, небольшой усадкой, низкой склонностью к образованию трещин и поглощению газов, герметичностью), хорошо свариваться, легко обрабатываться режущим инструментом. Они не должны быть токсичными и вредными для производства. Необходимо, чтобы они обеспечивали технологичность в условиях производства и были экономичными.

Литейные свойства сплавов

Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов, которые проявляются при заполнении формы, кристаллизации и охлаждении отливок в форме. К основным литейным свойствам сплавов относят: жидкотекучесть, усадку сплавов, склонность к образованию трещин, газопоглощение, ликвацию.

Жидкотекучесть – способность расплавленного металла течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки.

При высокой жидкотекучести сплавы заполняют все элементы литейной формы.

Жидкотекучесть зависит от многих факторов: от температурного интервала кристаллизации, вязкости и поверхностного натяжения расплава, температуры заливки и формы, свойств формы и т.д.

Чистые металлы и сплавы, затвердевающие при постоянной температуре, обладают лучшей жидкотекучестью, чем сплавы, затвердевающие в интервале температур (твердые растворы). Чем выше вязкость, тем меньше жидкотекучесть. С увеличением поверхностного натяжения жидкотекучесть понижается. С повышением температуры заливки расплавленного металла и формы жидкотекучесть улучшается. Увеличение теплопроводности материала формы снижает жидкотекучесть. Так, песчаная форма отводит теплоту медленнее, и расплавленный металл заполняет ее лучше, чем металлическую форму. Наличие неметаллических включений снижает жидкотекучесть. Так же влияет химический

состав сплава (с увеличением содержания серы, кислорода, хрома жидкотекучесть снижается; с увеличением содержания фосфора, кремния, алюминия, углерода жидкотекучесть увеличивается).

Усадка – свойство металлов и сплавов уменьшать объем при охлаждении в расплавленном состоянии, в процессе затвердевания и в затвердевшем состоянии при охлаждении до температуры окружающей среды. Изменение объема зависит от химического состава сплава, температуры заливки, конфигурации отливки.

Различают *объемную* и *линейную* усадку.

В результате объемной усадки появляются усадочные раковины и усадочная пористость в массивных частях отливки.

Для предупреждения образования усадочных раковин устанавливают прибыли – дополнительные резервуары с расплавленным металлом, а также наружные или внутренние холодильники.

Линейная усадка определяет размерную точность полученных отливок, поэтому она учитывается при разработке технологии литья и изготовления модельной оснастки.

Линейная усадка составляет: для серого чугуна – 0,8...1,3 %; для углеродистых сталей – 2...2,4 %; для алюминиевых сплавов – 0,9...1,45 %; для медных сплавов – 1,4...2,3 %.

Газопоглощение – способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять водород, азот, кислород и другие газы. Степень растворимости газов зависит от состояния сплава: с повышением температуры твердого сплава увеличивается незначительно; возрастает при плавлении; резко повышается при перегреве расплава. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается, в результате их выделения в отливке могут образоваться газовые раковины и поры.

Растворимость газов зависит от химического состава сплава, температуры заливки, вязкости сплава и свойств литейной формы.

Ликвация – неоднородность химического состава сплава в различных частях отливки. Ликвация образуется в процессе затвердевания отливки, из-за различной растворимости отдельных компонентов сплава в его твердой и жидкой фазах. В сталях и чугунах заметно ликвируют сера, фосфор и углерод.

Различают ликвацию *зональную*, когда различные части отливки имеют различный химический состав, и *дендритную*, когда химическая неоднородность наблюдается в каждом зерне.

Литейные сплавы

1. *Чугун* является наиболее распространенным материалом для получения фасонных отливок. Чугунные отливки составляют около 80 % всех отливок.

Широкое распространение чугун получил благодаря хорошим технологическим свойствам и относительной дешевизне. Из серого чугуна получают самые дешевые отливки (в 1,5 раза дешевле, чем стальные, в несколько раз – чем из цветных металлов). Область применения чугунов расширяется вследствие непрерывного повышения его прочностных и технологических

характеристик. Используют серые, высокопрочные, ковкие и легированные чугуны.

2. *Сталь* как литейный материал применяют для получения отливок деталей, которые наряду с высокой прочностью должны обладать хорошими пластическими свойствами. Чем ответственной машина, тем более значительна доля стальных отливок, идущих на ее изготовление. Стальное литье составляет: в тепловозах – 40...50 % от массы машины; в энергетическом и тяжелом машиностроении (колеса гидравлических турбин с массой 85 тонн, иногда несколько сотен тонн) – до 60 %.

Стальные отливки после соответствующей термической обработки не уступают по механическим свойствам поковкам.

Используются: углеродистые стали 15Л...55Л; легированные стали 25ГСЛ, 30ХГСЛ, 110Г13Л; нержавеющие стали 10Х13Л, 12Х18Н9ТЛ и др.

Среди литейных материалов из сплавов цветных металлов широкое применение нашли медные и алюминиевые сплавы.

1. *Медные сплавы* – бронзы и латуни.

Латуни – наиболее распространенные медные сплавы. Для изготовления различной аппаратуры для морских судостроения, работающей при температуре 300 °С, втулок и сепараторов подшипников, нажимных винтов и гаек прокатных станов, червячных винтов применяют сложнoleгированные латуни. Обладают хорошей износостойкостью, антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью.

Из *оловянных бронз* (БрО3Ц7С5Н1) изготавливают арматуру, шестерни, подшипники, втулки.

Безоловянные бронзы по некоторым свойствам превосходят оловянные. Они обладают более высокими механическими свойствами, антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью. Однако литейные свойства их хуже. Применяют для изготовления гребных винтов крупных судов, тяжело нагруженных шестерен и зубчатых колес, корпусов насосов, деталей химической и пищевой промышленности.

2. *Алюминиевые сплавы*.

Отливки из алюминиевых сплавов составляют около 70 % цветного литья. Они обладают высокой удельной прочностью, высокими литейными свойствами, коррозионной стойкостью в атмосферных условиях.

Наиболее высокими литейными свойствами обладают сплавы системы алюминий – кремний (Al-Si) – силумины АЛ2, АЛ9. Они широко применяются в машиностроении, автомобильной и авиационной промышленности, электротехнической промышленности.

Также используются сплавы систем: алюминий – медь, алюминий – медь – кремний, алюминий – магний.

3. *Магниевого сплавы* обладают высокими механическими свойствами, но их литейные свойства невысоки. Сплавы системы магний – алюминий – цинк – марганец применяют в приборостроении, в авиационной промышленности, в текстильном машиностроении.

Способы изготовления отливок. Изготовление отливок в песчаных формах

Для изготовления отливок служит литейная форма, которая представляет собой систему элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка.

Литейные формы изготавливают как из неметаллических материалов (песчаные формы, формы изготавливаемые по выплавляемым моделям, оболочковые формы) для одноразового использования, так и из металлов (кокили, изложницы для центробежного литья) для многократного использования.

Изготовление отливок в песчаных формах

Литье в песчаные формы является самым распространенным способом изготовления отливок. Изготавливают отливки из чугуна, стали, цветных металлов от нескольких грамм до сотен тонн, с толщиной стенки от 3...5 до 1000 мм и длиной до 10000 мм.

Схема технологического процесса изготовления отливок в песчаных формах представлена на рис. 9.1.



Рис. 9.1. Схема технологического процесса изготовления отливок в песчаных формах

Сущность литья в песчаные формы заключается в получении отливок из расплавленного металла, затвердевшего в формах, которые изготовлены из формовочных смесей путем уплотнения с использованием модельного комплекта.

Литейная форма для получения отливок в песчаных формах представлена на рис.9.2.

Литейная форма обычно состоит из верхней 1 и нижней 2 полуформ, которые изготавливаются в опоках 7, 8 – приспособлениях для удержания формовочной смеси. Полуформы ориентируют с помощью штырей 10, которые вставляют в отверстия ручек опок 11.

Для образования полостей отверстий или иных сложных контуров в формы устанавливают литейные стержни 3, которые фиксируют посредством выступов, входящих в соответствующие впадины формы (знаки).

Литейную форму заливают расплавленным металлом через литниковую систему.

Литниковая система – совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из разливочного ковша в полость формы.

Основными элементами являются: литниковая чаша 5, которая служит для приема расплавленного металла и подачи его в форму; стояк 6 – вертикальный или наклонный канал для подачи металла из литниковой чаши в рабочую полость или к другим элементам; шлакоуловитель 12, с помощью которого удерживается шлак и другие неметаллические примеси; питатель 13 – один или несколько, через которые расплавленный металл подводится в полость литейной формы.

Для вывода газов, контроля заполнения формы расплавленным металлом и питания отливки при ее затвердевании служат прибыли или выпор 4. Для вывода газов предназначены и вентиляционные каналы 9.

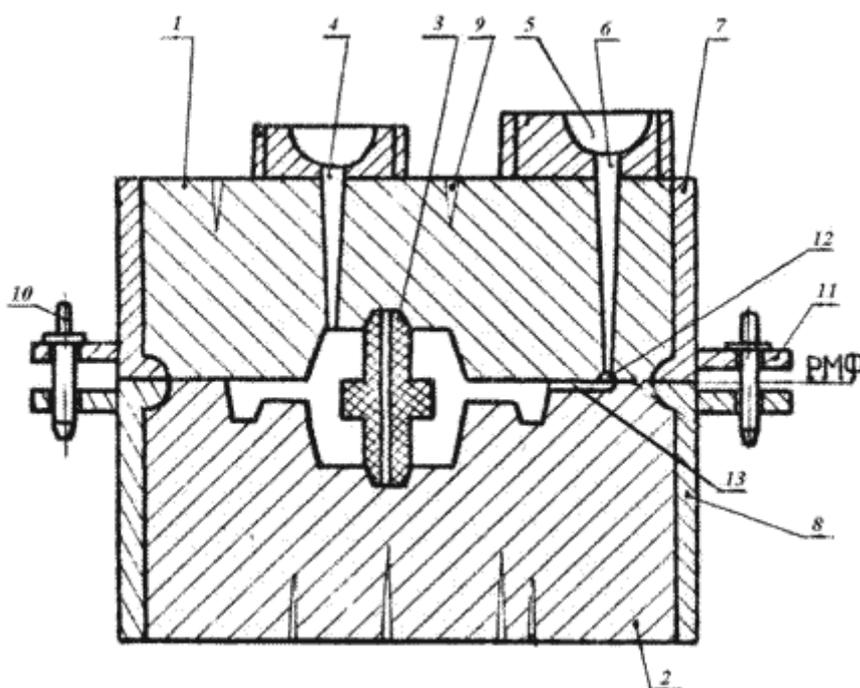


Рис. 9.2. Литейная форма

Разновидности литниковых систем представлены на рис. 9.3.

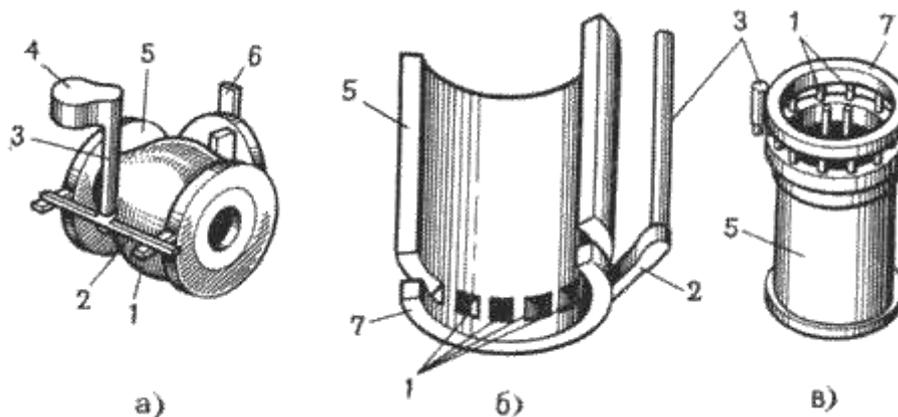


Рис. 9.3. Разновидности литниковых систем

Различают литниковые системы с питателями, расположенными в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

По способу подвода расплава в рабочую полость формы литниковые системы делят на: нижнюю, верхнюю, боковую.

Нижняя литниковая система (рис.9.3.б) – широко используется для литья сплавов, легко окисляющихся и насыщающихся газами (алюминий), обеспечивает спокойный подвод расплава к рабочей полости формы и постепенное заполнение ее поступающим снизу, без открытой струи металлом. При этом усложняется конструкция литниковой системы, увеличивается расход металла на нее, создается неблагоприятное распределение температур в залитой форме ввиду сильного разогрева ее нижней части.

Возможно образование усадочных дефектов и внутренних напряжений. При такой системе ограничена возможность получения высоких тонкостенных отливок (при литье алюминиевых сплавов форма не заполняется металлом, если отношение высоты отливки к толщине ее стенки превышает $60, \frac{H}{\delta} \geq 60$).

Нижний подвод через большое количество питателей часто используется при изготовлении сложных по форме, крупных отливок из чугуна.

Верхняя литниковая система (рис.9.3.в).

Достоинствами системы являются: малый расход металла; конструкция проста и легко выполнима при изготовлении форм; подача расплава сверху обеспечивает благоприятное распределение температуры в залитой форме (температура увеличивается от нижней части к верхней), а следовательно, и благоприятные условия для направленной кристаллизации и питания отливки.

Недостатки: падающая сверху струя может размыть песчаную форму, вызывая засоры; при разбрызгивании расплава возникает опасность его окисления и замешивания воздуха в поток с образованием оксидных включений; затрудняется улавливание шлака.

Верхнюю литниковую систему применяют для невысоких (в положении заливки) отливок, небольшой массы и несложной формы, изготовленных из сплавов не склонных к сильному окислению в расплавленном состоянии (чугуны, углеродистые конструкционные стали, латуни).

Боковая литниковая система (рис.9.3.а).

Подвод металла осуществляется в среднюю часть отливки (по разьему формы).

Такую систему применяют при получении отливок из различных сплавов, малых и средних по массе деталей, плоскость симметрии которых совпадает с плоскостью разьема формы. Является промежуточной между верхней и нижней, и следовательно сочетает в себе некоторые их достоинства и недостатки.

Иногда при подводе металла снизу и сверху используют массивные коллекторы.

Приготовление формовочных и стержневых смесей

Для приготовления смесей используются природные и искусственные материалы.

Облицовочная – используется для изготовления рабочего слоя формы. Содержит повышенное количество исходных формовочных материалов и имеет высокие физико- механические свойства.

Наполнительная – используется для заполнения формы после нанесения на модель облицовочной смеси. Приготавливается путем переработки оборотной смеси с малым количеством исходных формовочных материалов.

Облицовочная и наполнительная смеси необходимы для изготовления крупных и сложных отливок.

Единая – применяется одновременно в качестве облицовочной и наполнительной. Используют при машинной формовке и на автоматических линиях в серийном и массовом производстве. Изготавливается из наиболее огнеупорных песков и глин с наибольшей связующей способностью для обеспечения долговечности.

Приготовление формовочных смесей

Сначала подготавливают песок, глину и другие исходные материалы. Песок сушат и просеивают. Глину сушат, размельчают, размалывают в шаровых мельницах или бегунах и просеивают. Аналогично получают угольный порошок.

Подготавливают оборотную смесь. Оборотную смесь после выбивки из опок разминают на гладких валках, очищают от металлических частиц в магнитном сепараторе и просеивают.

Приготовление формовочной смеси включает несколько операций: перемешивание компонентов смеси, увлажнение и разрыхление.

Перемешивание осуществляется в смесителях-бегунах с вертикальными или горизонтальными катками. Песок, глину, воду и другие составляющие загружают при помощи дозатора, перемешивание осуществляется под действием катков и плужков, подающих смесь под катки.

Готовая смесь выдерживается в бункерах-отстойниках в течение 2...5 часов, для распределения влаги и образования водных оболочек вокруг глинистых частиц.

Готовую смесь разрыхляют в специальных устройствах и подают на формовку.

Стержневая смесь

Стержневые смеси соответствуют условиям технологического процесса изготовления литейных стержней, которые испытывают тепловые и механические воздействия. Они должны иметь более высокие огнеупорность, газопроницаемость, податливость, легко выбиваться из отливки.

Огнеупорность – способность смеси и формы сопротивляться растяжению или расплавлению под действием температуры расплавленного металла.

Газопроницаемость – способность смеси пропускать через себя газы (песок способствует ее повышению).

В зависимости от способа изготовления стержней смеси разделяют: на смеси с отверждением стержней тепловой сушкой в нагреваемой оснастке; жидкие самотвердеющие; жидкие холоднотвердеющие смеси на синтетических смолах; жидкостекольные смеси, отверждаемые углекислым газом.

Приготовление стержневых смесей осуществляется перемешиванием компонентов в течение 5...12 минут с последующим выстаиванием в бункерах.

В современном литейном производстве изготовление смесей осуществляется на автоматических участках.

Модельный комплект

Модельный комплект – приспособления, включающие литейную модель, модели литниковой системы, стержневые ящики, модельные плиты, контрольные и сборочные шаблоны.

Литейная модель – приспособление, с помощью которого в литейной форме получают отпечаток, соответствующий конфигурации и размерам отливки.

Применяют модели разъемные и неразъемные, деревянные, металлические и пластмассовые.

Размеры модели больше размеров отливки на величину линейной усадки сплава.

Модели деревянные (сосна, бук, ясень), лучше изготавливать не из целого куска, а склеивать из отдельных брусочков с разным направлением волокон, для предотвращения коробления.

Достоинства: дешевизна, простота изготовления, малый вес. Недостаток: недолговечность.

Для лучшего удаления модели из формы ее окрашивают: чугун – красный, сталь – синий.

Металлические модели характеризуются большей долговечностью, точностью и чистой рабочей поверхностью. Изготавливаются из алюминиевых сплавов – легкие, не окисляются, хорошо обрабатываются. Для уменьшения массы модели делают пустотелыми с ребрами жесткости.

Модели из пластмасс устойчивы к действию влаги при эксплуатации и хранении, не подвергаются короблению, имеют малую массу.

Стержневой ящик – формообразующее изделие, имеющее рабочую полость для получения в ней литейного стержня нужных размеров и очертаний из стержневой смеси. Обеспечивают равномерное уплотнение смеси и быстрое извлечение стержня. Изготавливают из тех же материалов, что и модели. Могут быть разъемными и неразъемными (вытряхными), а иногда с нагревателями.

Изготовление стержней может осуществляться в ручную и на специальных стержневых машинах.

Модельные плиты формируют разъем литейной формы, на них закрепляют части модели. Используют для изготовления опочных и безопочных полуформ.

Для машинной формовки применяют координатные модельные плиты и плиты со сменными вкладышами (металлическая рамка плюс металлические или деревянные вкладыши).

Изготовление стержней

Изготовление стержней осуществляется вручную или на специальных стержневых машинах из стержневых смесей.

Изготовление стержней включает операции: формовка сырого стержня, сушка, окраска сухого стержня. Если стержень состоит из нескольких частей, то после сушки их склеивают.

Ручная формовка осуществляется в стержневых ящиках. В готовых стержнях выполняют вентиляционные каналы. Для придания стержням необходимой прочности используются арматурные каркасы из стальной проволоки или литого чугуна.

Готовые стержни подвергаются сушке при температуре 200...230 °С, для увеличения газопроницаемости и прочности. Во время сушки из стержня удаляется влага, частично или полностью выгорают органические примеси

Часто стержни изготавливают на пескодувных машинах. При использовании смесей с синтетическими смолами, стержни изготавливают в нагреваемой оснастке.

Изготовление стержней из жидкостекольных смесей состоит в химическом отверждении жидкого стекла путем продувки стержня углекислым газом.

ЛЕКЦИЯ №10

Приготовление форм. Технология изготовления форм

Изготовление литейных форм

Основными операциями изготовления литейных форм являются: уплотнение формовочной смеси для получения точного отпечатка модели в форме и придание форме достаточной прочности; устройство вентиляционных каналов для вывода газов из полости формы; извлечение модели из формы; отделка и сборка формы.

Формы изготавливаются вручную, на формовочных машинах и на автоматических линиях.

Ручная формовка применяется для получения одной или нескольких отливок в условиях опытного производства, в ремонтном производстве, для крупных отливок массой 200...300 тонн.

Приемы ручной формовки: в парных опоках по разъемной модели; формовка шаблонами; формовка в кессонах.

Формовка шаблонами применяется для получения отливок, имеющих конфигурацию тел вращения в единичном производстве

Шаблон – профильная доска. Изготовление формы для шлаковой чаши (рис. 10.1.а.) показано на рис. 10.1.

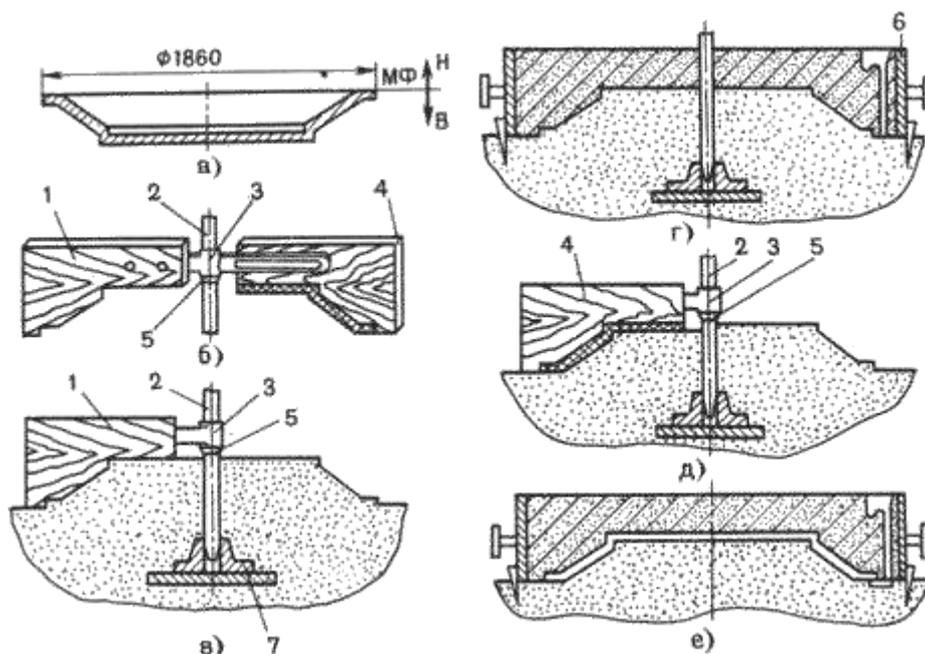


Рис.10.1. Шаблонная формовка

В уплотненной формовочной смеси вращением шаблона 1, закрепленного на шпинделе 2 при помощи серьги 3, оформляют наружную поверхность отливки (рис. 10.1.в.) и используют ее как модель для формовки в опоке верхней полуформы 6 (рис. 10.1.г). Снимают серьгу с шаблоном, плоскость разъема покрывают разделительным слоем сухого кварцевого песка, устанавливают модели литниковой системы, опоку, засыпают формовочную смесь и уплотняют ее. Затем снимают верхнюю полуформу. В подпятник 7 устанавливают шпиндель с шаблоном 4, которым оформляют нижнюю полуформу, сжимая слой смеси, равный толщине стенки отливки (рис. 10.4.д). Снимают шаблон, удаляют шпиндель, отделяют болван и устанавливают верхнюю полуформу (рис. 10.4.е). В готовую литейную форму заливают расплавленный металл

Формовка в кессонах

Формовкой в кессонах получают крупные отливки массой до 200 тонн.

Кессон – железобетонная яма, расположенная ниже уровня пола цеха, водонепроницаемая для грунтовых вод.

Механизированный кессон имеет две подвижные и две неподвижные стенки из чугунных плит. Дно из полых плит, которые можно продувать (для ускорения охлаждения отливок) и кессона. Кессон имеет механизм для передвижения стенок и приспособлен для установки и закрепления верхней полуформы.

Машинная формовка

Используется в массовом и серийном производстве, а также для мелких серий и отдельных отливок.

Повышается производительность труда, улучшается качество форм и отливок, снижается брак, облегчаются условия работы.

По характеру уплотнения различают машины: прессовые, встряхивающие и другие.

Уплотнение прессованием может осуществляться по различным схемам, выбор которой зависит от размеров формы моделей, степени и равномерности уплотнения и других условий.

В машинах с верхним уплотнением (рис. 10.2.а) уплотняющее давление действует сверху. Используют наполнительную рамку.

При подаче сжатого воздуха в нижнюю часть цилиндра 1 прессовый поршень 2, стол 3 с прикрепленной к нему модельной плитой 4 с моделью поднимается. Прессовая колодка 7, закрепленная на траверсе 8 входит в наполнительную рамку 6 и уплотняет формовочную смесь в опоке 10. После прессования стол с модельной оснасткой опускают в исходное положение.

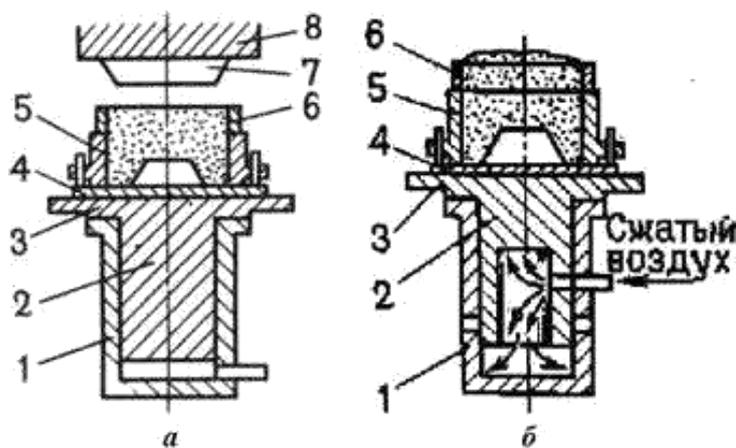


Рис. 10.2. Схемы способов уплотнения литейных форм при машинной формовке
а – прессованием; б - встряхиванием

У машин с нижним прессованием формовочная смесь уплотняется самой моделью и модельной плитой.

Уплотнение встряхиванием происходит в результате многократно повторяющихся встряхиваний (рис. 10.2.б).

Под действием сжатого воздуха, подаваемого в нижнюю часть цилиндра 1, встряхивающий поршень 2 и стол с закрепленной на нем модельной плитой 4 с моделью поднимается на 30...100 мм до выпускного отверстия, затем падает. Формовочная смесь в опоке 5 и наполнительной рамке 6 уплотняется в результате появления инерционных сил. Способ характеризуется неравномерностью уплотнения, уплотнение верхних слоев достигается допрессовкой.

Вакуумная формовка

Модельная плита имеет вакуумную полость. В модели имеются сквозные отверстия диаметром 0,5...1 мм, совпадающие с отверстиями в плите. Модельную плиту с моделью закрывают нагретой полимерной пленкой. В воздушной коробке насосами создается вакуум 40...50 кПа. Затем устанавливается опока с сухим кварцевым песком, который уплотняется с помощью вибраций.

На верхнюю поверхность помещают разогретую пленку, плотно прилегающую к опоке. Полуформу снимают с модели. При заливке металла пленка сгорает, образуя противопопригарное покрытие.

Уплотнение пескометом осуществляется рабочим органом пескомета – метательной головкой. Формовочная смесь подается в головку непрерывно. Пескомет обеспечивает засыпку смеси и ее уплотнение. При вращении ковша (1000...1500 мин⁻¹) формовочная смесь выбрасывается в опоку со скоростью 30...60 м/с. Метательная головка может перемещаться над опокой. Пескомет – высокопроизводительная формовочная машина, его применяют при изготовлении крупных отливок в опоках и кессонах.

Безопасная автоматическая формовка

Используется при изготовлении форм для мелких отливок из чугуна и стали в серийном и массовом производстве.

Изготовление литейных форм осуществляется на высокопроизводительных пескодувно-прессовых автоматических линиях (рис. 10.3).

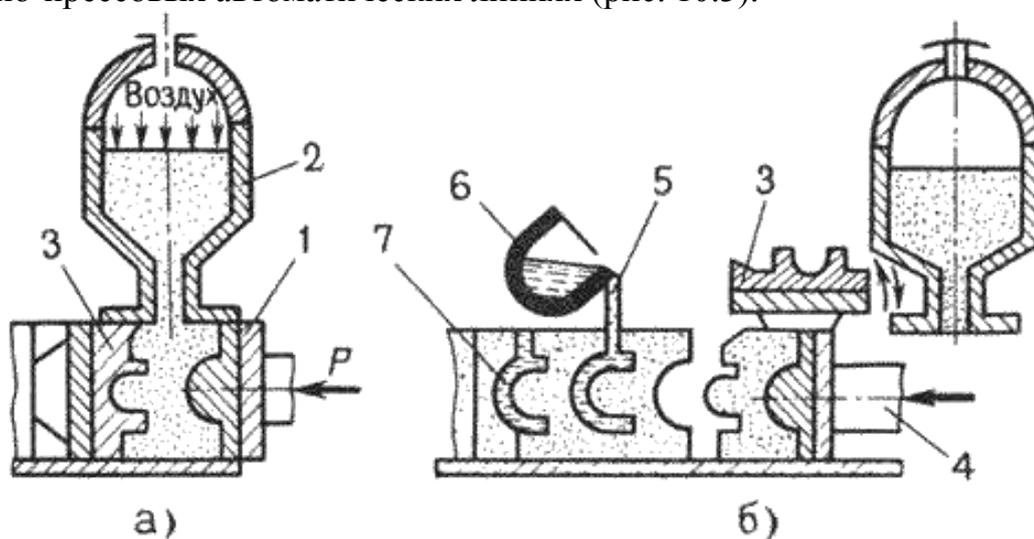


Рис. 10.3. Изготовление безопасных литейных форм

Формовочная камера заполняется смесью с помощью сжатого воздуха из головки 2. Уплотнение осуществляется при перемещении модельной плиты 1 плунжером 4. После уплотнения поворотная модельная плита 3 отходит влево и поворачивается в горизонтальное положение. Полуформа перемещается плунжером 4 до соприкосновения с предыдущим комом, образуя полость 10. Затем производят заливку металла из ковша 6. После затвердевания и охлаждения отливок, формы подаются на выбивную решетку, где отливки 7 освобождаются от формовочной смеси.

ЛЕКЦИЯ №11

Специальные виды литья.

Центробежные литья, литье под давлением

Специальные способы литья

В современном литейном производстве все более широкое применение получают специальные способы литья: в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, кокильное, под давлением, центробежное и другие.

Эти способы позволяют получать отливки повышенной точности, с малой шероховатостью поверхности, минимальными припусками на механическую обработку, а иногда полностью исключают ее, что обеспечивает высокую производительность труда. Каждый специальный способ литья имеет свои особенности, определяющие области применения.

Литье в оболочковые формы

Литье в оболочковые формы - процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, изготовленных по горячей модельной оснастке из специальных песчано-смоляных смесей.

Формовочную смесь готовят из мелкого кварцевого песка с добавлением термореактивных связующих материалов.

Технологические операции формовки при литье в оболочковые формы представлены на рис.11.1.

Металлическую модельную плиту 1 с моделью нагревают в печи до 200...250 °С.

Затем плиту 1 закрепляют на опрокидывающемся бункере 2 с формовочной смесью 3 (рис. 11.1. а) и поворачивают на 180° (рис. 11.1.б). Формовочную смесь выдерживают на плите 10...30 секунд. Под действием теплоты, исходящей от модельной плиты, термореактивная смола в приграничном слое расплавляется, склеивает песчинки и отвердевает с образованием песчано-смоляной оболочки 4, толщиной 5...15 мм. Бункер возвращается в исходное положение (рис. 11.1. в), излишки формовочной смеси осыпаются с оболочки. Модельная плита с полутвердой оболочкой 4 снимается с бункера и прокаливается в печи при температуре 300...350 °С, при этом смола переходит в твердое необратимое состояние. Твердая оболочка снимается с модели с помощью выталкивателей 5 (рис.11.1.г). Аналогичным образом получают вторую полуформу.

Для получения формы полуформы склеивают или соединяют другими способами (при помощи скоб).

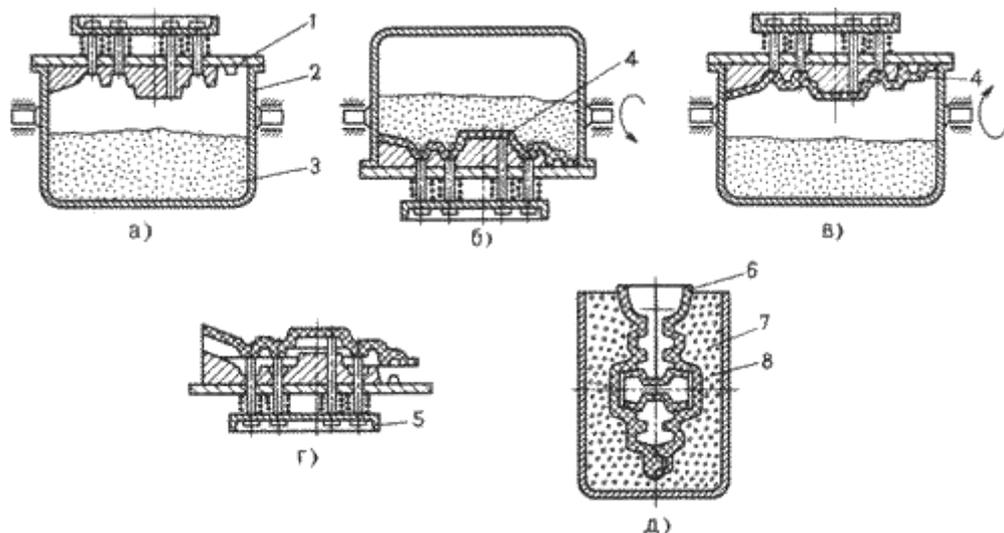


Рис 11.1. Технологические операции формовки при литье в оболочковые формы

Собранные формы небольших размеров с горизонтальной плоскостью разъема укладывают на слой песка. Формы с вертикальной плоскостью разъема *б* и крупные формы для предохранения от коробления и преждевременного разрушения устанавливают в контейнеры *7* и засыпают чугушной дробью *8* (рис.11.1.д).

Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок, малую шероховатость поверхностей, снижает расход формовочных материалов (высокая прочность оболочек позволяет изготавливать формы тонкостенными) и объем механической обработки, является высокопроизводительным процессом.

В оболочковых формах изготавливают отливки массой $0,2 \dots 100$ кг с толщиной стенки $3 \dots 15$ мм из всех литейных сплавов для приборов, автомобилей, металлорежущих станков.

Литье по выплавляемым моделям

Литье по выплавляемым моделям – процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, рабочая полость которых образуется благодаря удалению (вытеканию) легкоплавкого материала модели при ее предварительном нагревании.

Технологические операции процесса литья по выплавляемым моделям представлены на рис. 11.2.

Выплавляемые модели изготавливают в пресс-формах *1* (рис. 11.2.а) из модельных составов, включающих парафин, воск, стеарин, жирные кислоты. Состав хорошо заполняет полость пресс-формы, дает четкий отпечаток. После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается и модель *2* (рис. 11.2.б) выталкивается в холодную воду.

Затем модели собираются в модельные блоки *3* (рис. 11.2.в) с общей литниковой системой припаиванием, приклеиванием или механическим креплением. В один блок объединяют $2 \dots 100$ моделей.

Формы изготавливают многократным погружением модельного блока 3 в специальную жидкую огнеупорную смесь 5, налитую в емкость 4 (рис.11.2.г) с последующей обсыпкой кварцевым песком. Затем модельные блоки сушат на воздухе или в среде аммиака. Обычно наносят 3...5 слоев огнеупорного покрытия с последующей сушкой каждого слоя.

Модели из форм удаляют, погружая в горячую воду или с помощью нагретого пара. После удаления модельного состава тонкостенные литейные формы устанавливаются в опоке, засыпаются кварцевым песком, а затем прокаливают в печи в течение 6...8 часов при температуре 850...950 °С для удаления остатков модельного состава, испарения воды (рис. 11.2.д)

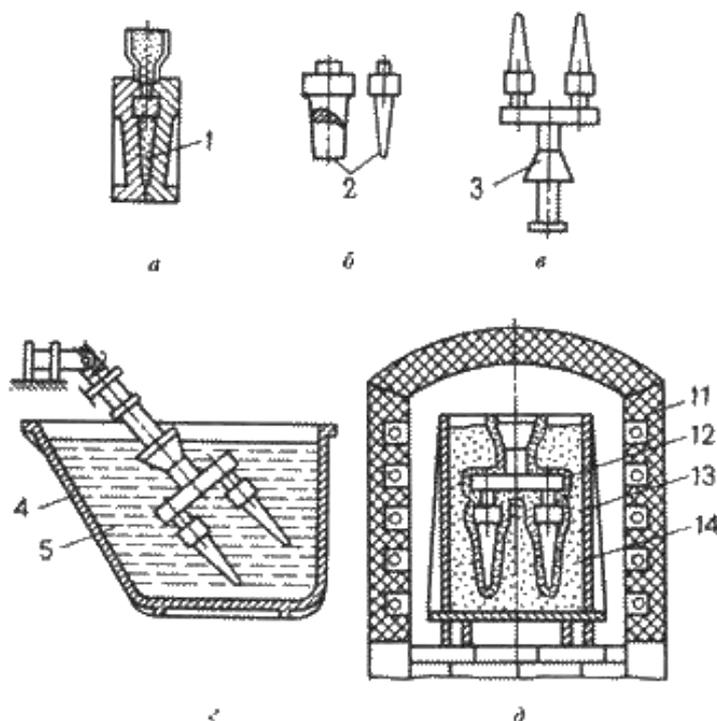


Рис.11.2. Технологические операции процесса литья по выплавляемым моделям

Заливку форм по выплавляемым моделям производят сразу же после прокалики в нагретом состоянии. Заливка может быть свободной, под действием центробежных сил, в вакууме и т.д.

После затвердевания залитого металла и охлаждения отливок форма разрушается, отливки отделяют от литников механическими методами, направляют на химическую очистку, промывают и подвергают термической обработке.

Литье по выплавляемым моделям обеспечивает получение точных и сложных отливок из различных сплавов массой 0,02...15 кг с толщиной стенки 0,5...5 мм.

Недостатком является сложность и длительность процесса производства отливок, применение специальной дорогостоящей оснастки.

Литьем по выплавляемым моделям изготавливают детали для приборостроительной, авиационной и другой отраслевой промышленности. Используют при литье жаропрочных труднообрабатываемых сплавов (лопатки

турбин), коррозионно-стойких сталей, углеродистых сталей в массовом производстве (автомобильная промышленность).

Технологический процесс автоматизирован и механизирован.

Литье в металлические формы

Литье в металлические формы (кокили) получило большое распространение. Этим способом получают более 40% всех отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, отливки из чугуна и стали.

Литье в кокиль – изготовление отливок из расплавленного металла в металлических формах-кокилях.

Формирование отливки происходит при интенсивном отводе теплоты от расплавленного металла, от затвердевающей и охлаждающейся отливки к массивному металлическому кокилю, что обеспечивает более высокие плотность металла и механические свойства, чем у отливок, полученных в песчаных формах.

Схема получения отливок в кокиле представлена на рис. 11.3.

Рабочую поверхность кокиля с вертикальной плоскостью разъема, состоящую из поддона 1, двух симметричных полуформ 2 и 3 и металлического стержня 4, предварительно нагретую до 150...180 °С покрывают из пульверизатора 5 слоем огнеупорного покрытия (рис. 11.3.а) толщиной 0,3...0,8 мм. Покрытие предохраняет рабочую поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой.

Покрытия готовят из огнеупорных материалов (тальк, мел, графит), связующего материала (жидкое стекло) и воды.

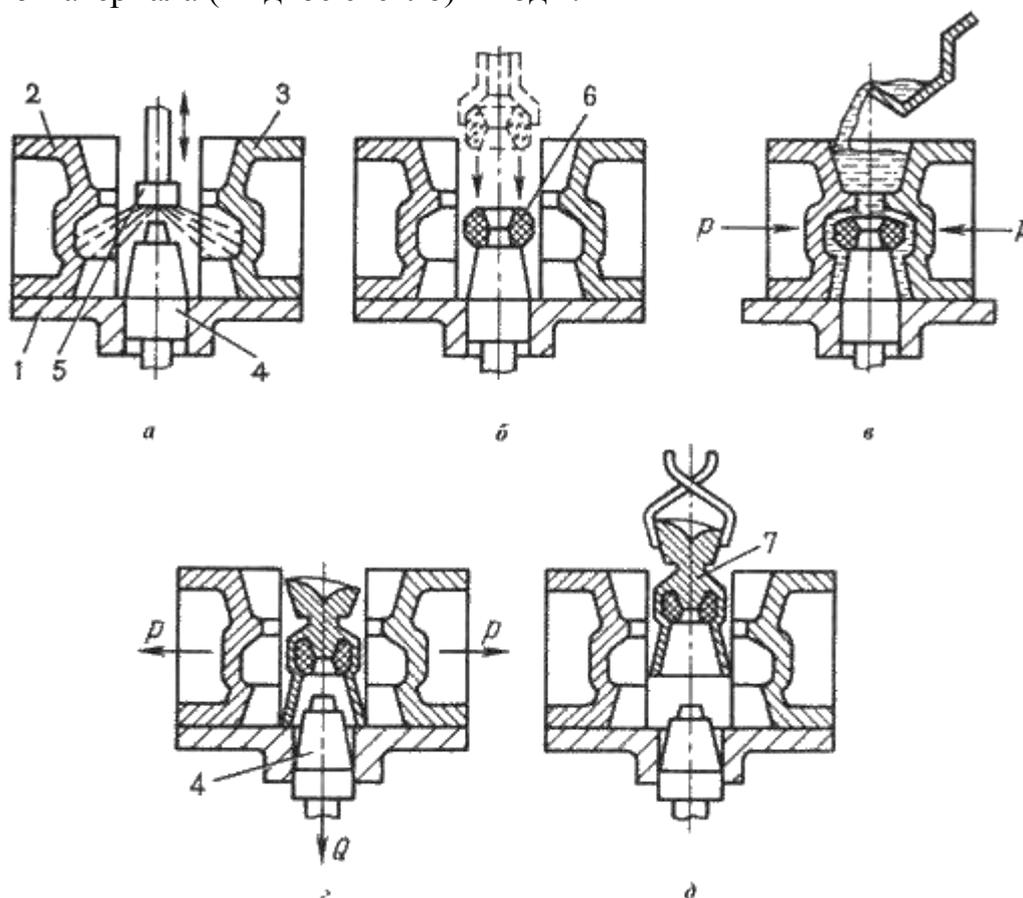


Рис. 11.3 Технологические операции изготовления отливки в кокиль

Затем с помощью манипулятора устанавливают песчаный стержень 6, с помощью которого в отливке выполняется полость (рис.11.3.б).

Половинки кокиля соединяют и заливают расплав. После затвердевания отливки 7 (рис. 11.3.в) и охлаждения ее до температуры выбивки кокиль раскрывают (рис.11.3.г) и протягивают вниз металлический стержень 4. Отливка 7 удаляется манипулятором из кокиля (рис.11.3.д).

Отливки простой конфигурации изготавливают в неразъемных кокилях, несложные отливки с небольшими выступами и впадинами на наружной поверхности – в кокилях с вертикальным разъемом. Крупные, простые по конфигурации отливки получают в кокилях с горизонтальным разъемом. При изготовлении сложных отливок применяют кокили с комбинированным разъемом.

Расплавленный металл в форму подводят сверху, снизу (сифоном), сбоку. Для удаления воздуха и газов по плоскости разъема прорезают вентиляционные каналы.

Все операции технологического процесса литья в кокиль механизированы и автоматизированы. Используют однопозиционные и многопозиционные автоматические кокильные машины.

Литье в кокиль применяют в массовом и серийном производствах для изготовления отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов с толщиной стенки 3...100 мм, массой от нескольких граммов до нескольких сотен килограммов.

Литье в кокиль позволяет сократить или избежать расхода формовочных и стержневых смесей, трудоемких операций формовки и выбивки форм, повысить точность размеров и снизить шероховатость поверхности, улучшить механические свойства.

Недостатки кокильного литья: высокая трудоемкость изготовления кокилей, их ограниченная стойкость, трудность изготовления сложных по конфигурации отливок.

Изготовление отливок центробежным литьем

При центробежном литье сплав заливается во вращающиеся формы. Формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок.

Центробежным литьем изготавливают отливки в металлических, песчаных, оболочковых формах и формах для литья по выплавляемым моделям на центробежных машинах с горизонтальной и вертикальной осью вращения.

Металлические формы изложницы изготавливают из чугуна и стали. Толщина изложницы в 1,5...2 раза больше толщины отливки. В процессе литья изложницы снаружи охлаждают водой или воздухом.

На рабочую поверхность изложницы наносят теплозащитные покрытия для увеличения срока их службы. Перед работой изложницы нагревают до 200 °С.

Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем представлены на рис.11.4.

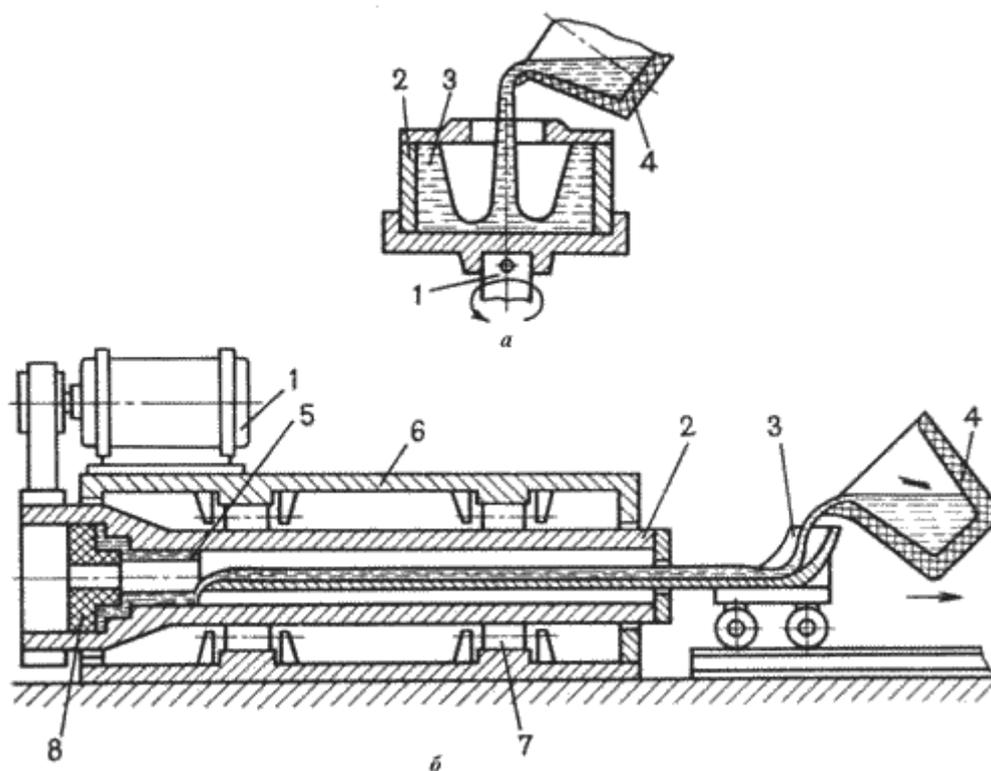


Рис.11.4. Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем

При получении отливок на машинах с вращением формы вокруг вертикальной оси (рис. 11.4.а) металл из ковша 4 заливают во вращающуюся форму 2, укрепленную на шпинделе 1, который вращается от электродвигателя.

Под действием центробежных сил металл прижимается к боковой стенке изложницы. Литейная форма вращается до полного затвердевания отливки. После остановки формы отливка 3 извлекается.

Отливки имеют разностенность по высоте – более толстое сечение в нижней части. Применяют для получения отливок небольшой высоты – коротких втулок, колец, фланцев.

При получении отливок типа тел вращения большой длины (трубы, втулки) на машинах с горизонтальной осью вращения (рис. 11.4.б) изложницу 2 устанавливают на опорные ролики 7 и закрывают кожухом 11. Изложница приводится в движение электродвигателем 1. Расплавленный металл из ковша 4 заливают через желоб 3, который в процессе заливки металла перемещается, что обеспечивает получение равностенной отливки 5. Для образования раструба трубы используют песчаный или оболочковый стержень 8. После затвердевания металла готовую отливку извлекают специальным приспособлением.

Скорость вращения формы зависит от диаметра отливки и плотности сплава, определяется по формуле:

$$n > \frac{5520}{\sqrt{\gamma \times r}},$$

где: γ – плотность сплава; r – внутренний радиус отливки.

Центробежным литьем изготавливают отливки из чугуна, стали, сплавов титана, алюминия, магния и цинка (трубы, втулки, кольца, подшипники качения, бандажи железнодорожных и трамвайных вагонов).

Масса отливок от нескольких килограммов до 45 тонн. Толщина стенок от нескольких миллиметров до 350 мм. Центробежным литьем можно получить тонкостенные отливки из сплавов с низкой текучестью, что невозможно сделать при других способах литья.

Недостаток: наличие усадочной пористости, ликватов и неметаллических включений на внутренних поверхностях; возможность появления дефектов в виде продольных и поперечных трещин, газовых пузырей.

Преимущества – получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней, экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы, возможность получения двухслойных заготовок, что получается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь – чугун, чугун – бронза).

Используют автоматические и многопозиционные карусельные машины с управлением от ЭВМ.

Литье под давлением

Литьем под давлением получают отливки в металлических формах (пресс-формах), при этом заливку металла в форму и формирование отливки осуществляют под давлением.

Отливки получают на машины литья под давлением с холодной или горячей камерой прессования. В машинах с холодной камерой прессования камеры прессования располагаются либо горизонтально, либо вертикально.

На машинах с горизонтальной холодной камерой прессования (рис. 11.1) расплавленный металл заливают в камеру прессования 4 (рис. 11.1.а). Затем металл плунжером 5, под давлением 40...100 МПа, подается в полость пресс-формы (рис.11.1.б), состоящей из неподвижной 3 и подвижной 1 полуформ. Внутреннюю полость в отливке получают стержнем 2. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается, стержень 2 извлекается (рис. 11.1.в) и отливка 7 выталкивателями 6 удаляется из рабочей полости пресс-формы.

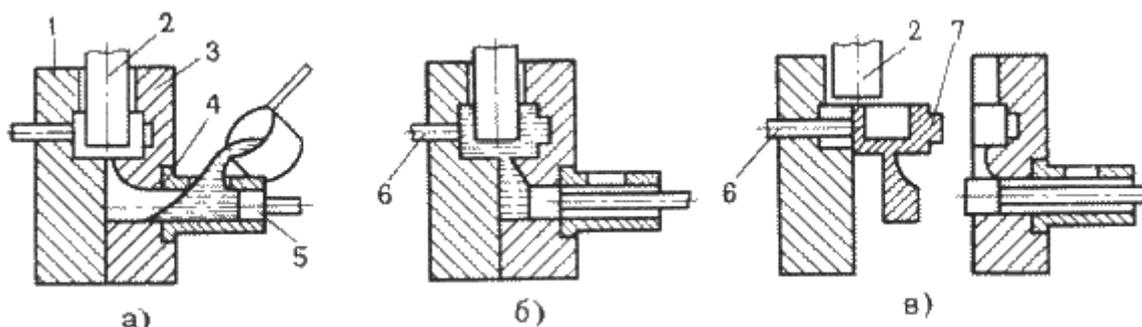


Рис.11.1. Технологические операции изготовления отливок на машинах с горизонтальной холодной камерой прессования

Перед заливкой пресс-форму нагревают до 120...320 °С. После удаления отливки рабочую поверхность пресс-формы обдувают воздухом и смазывают специальными материалами для предупреждения приваривания отливки. Воздух и газы удаляются через каналы, расположенные в плоскости разъема пресс-формы

или вакуумированием рабочей полости перед заливкой металла. Такие машины применяют для изготовления отливок из медных, алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов массой до 45 кг.

На машинах с горячей камерой прессования (рис. 11.2) камера прессования 2 расположена в обогреваемом тигле 1 с расплавленным металлом. При верхнем положении плунжера 3 металл через отверстие 4 заполняет камеру прессования. При движении плунжера вниз отверстие перекрывается, сплав под давлением 10...30 МПа заполняет полость пресс-формы 5. После затвердевания отливки плунжер возвращается в исходное положение, остатки расплавленного металла сливаются в камеру прессования, а отливка удаляется из пресс-формы выталкивателями 11.

Получают отливки из цинковых и магниевых сплавов массой от нескольких граммов до 25 кг.

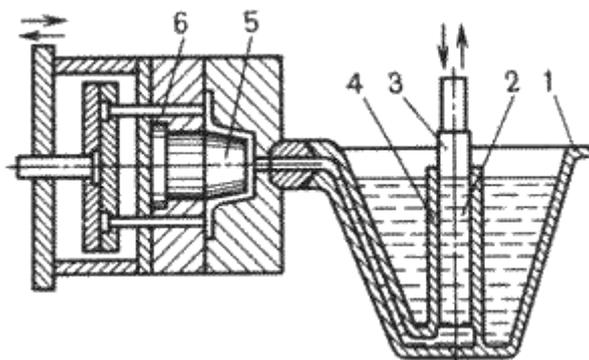


Рис.11.2. Схема изготовления отливки на машинах с горячей камерой прессования

При литье под давлением температура заливки сплава выбирается на 10...20 °С выше температуры плавления.

Литье под давлением используют в массовом и крупносерийном производствах отливок с минимальной толщиной стенок 0,8 мм, с высокой точностью размеров и малой шероховатостью поверхности, за счет тщательного полирования рабочей полости пресс-формы, без механической обработки или с минимальными припусками, с высокой производительностью процесса.

Недостатки: высокая стоимость пресс-формы и оборудования, ограниченность габаритных размеров и массы отливок, наличие воздушной пористости в массивных частях отливки.

Изготовление отливок электрошлаковым литьем

Сущность процесса электрошлакового литья заключается в переплаве расходуемого электрода в водоохлаждаемой металлической форме (кристаллизаторе).

При этом операции расплавления металла, его заливка и выдержка отливки в форме совмещены по месту и времени.

Схема изготовления отливок электрошлаковым литьем представлена на рис. 11.3.

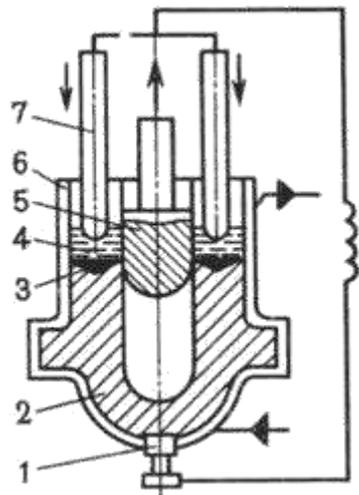


Рис.11.3. Схема изготовления отливок электрошлаковым литьем

В качестве расходуемого электрода используется прокат. В кристаллизатор 6 заливают расплавленный шлак 4 (фторид кальция или смесь на его основе), обладающий высоким электро- сопротивлением. При пропускании тока через электрод 7 и затравку 1 выделяется значительное количество теплоты, и шлаковая ванна нагревается до 1700 °С, происходит оплавление электрода. Капли расплавленного металла проходят через расплавленный шлак и образуют под ним металлическую ванну 3. Она в водоохлаждаемой форме затвердевает последовательно, образуя плотную без усадочных дефектов отливку 2. Внутренняя полость образуется металлической вставкой 5.

Расплавленный шлак способствует удалению кислорода, снижению содержания серы и неметаллических включений, поэтому получают отливки с высокими механическими и эксплуатационными свойствами.

Изготавливаются отливки ответственного назначения массой до 300 тонн: корпуса клапанов и задвижек атомных и тепловых электростанций, коленчатые валы судовых двигателей, корпуса сосудов сверхвысокого давления, ротора турбогенераторов.

Изготовление отливок непрерывным литьем

При *непрерывном литье* (рис. 11.4) расплавленный металл из металлоприемника 1 через графитовую насадку 2 поступает в водоохлаждаемый кристаллизатор 3 и затвердевает в виде отливки 4, которая вытягивается специальным устройством 5. Длинные отливки разрезают на заготовки требуемой длины.

Используют при получении отливок с параллельными образующими из чугуна, медных, алюминиевых сплавов. Отливки не имеют неметаллических включений, усадочных раковин и пористости, благодаря созданию направленного затвердевания отливок.

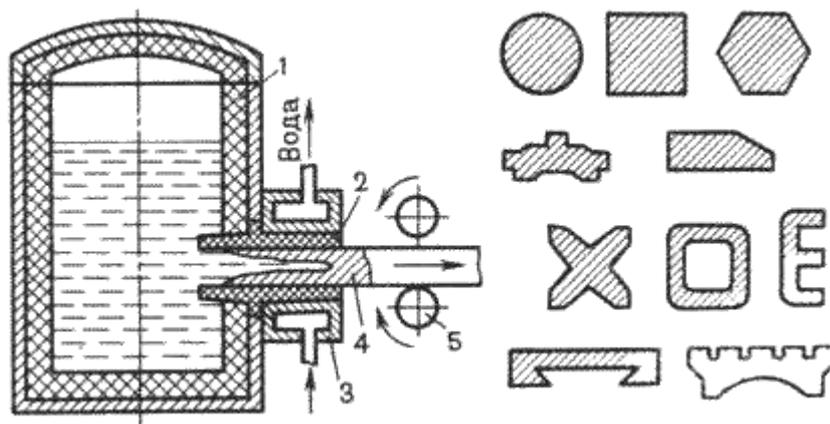


Рис. 11.4. Схема непрерывного литья (а) и разновидности получаемых отливок (б)

Особенности изготовления отливок из различных сплавов

Чугун. Преобладающее количество отливок из серого чугуна изготавливают в песчаных формах. Отливки получают, как правило, получают без применения прибылей.

При изготовлении отливок из серого чугуна в кокилях, в связи с повышенной скоростью охлаждения при затвердевании, начинает выделяться цементит – появление отбеливания. Для предупреждения отбела на рабочую поверхность кокиля наносят малотеплопроводные покрытия. Кокили перед работой их нагревают, а чугун подвергают модифицированию. Для устранения отбела отливки подвергают отжигу.

Отливки типа тел вращения (трубы, гильзы, втулки) получают центробежным литьем.

Отливки из высокопрочного чугуна преимущественно изготавливают в песчаных формах, в оболочковых формах, литьем в кокиль, центробежным литьем. Достаточно высокая усадка чугуна вызывает необходимость создания условий направленного затвердевания отливок для предупреждения образования усадочных дефектов в массивных частях отливки путем установки прибылей и использования холодильников.

Расплавленный чугун в полость формы подводят через сужающуюся литниковую систему и, как правило, через прибыль.

Особенностью получения отливок из ковкого чугуна является то, что исходный материал – белый чугун имеет пониженную жидкотекучесть, что требует повышенной температуры заливки при изготовлении тонкостенных отливок. Для сокращения продолжительности отжига чугун модифицируют алюминием, бором, висмутом. Отливки изготавливают в песчаных формах, а также в оболочковых формах и кокилях.

Стальные отливки

Углеродистые и легированные стали – 15Л, 12Х18Н9ТЛ, 30ХГСЛ, 10Х13Л, 110Г13Л – литейные стали.

Литейные стали имеют пониженную жидкотекучесть, высокую усадку до 2,5%, склонны к образованию трещин.

Стальные отливки изготавливают в песчаных и оболочковых формах, литьем по выплавляемым моделям, центробежным литьем.

Для предупреждения усадочных раковин и пористости в отливках на массивные части устанавливают прибыли, а в тепловых узлах – используют наружные или внутренние холодильники. Для предупреждения трещин формы изготавливают из податливых формовочных смесей, в отливках предусматривают технологические ребра.

Подачу расплавленного металла для мелких и средних отливок выполняют по разьему или сверху, а для массивных – сифоном. В связи с низкой жидкотекучестью площадь сечения питателей в 1,5...2 раза больше, чем при литье чугуна.

Для получения высоких механических свойств, стальные отливки подвергают отжигу, нормализации и другим видам термической обработки.

Алюминиевые сплавы

Основные литейные сплавы – сплавы системы алюминий – кремний (силумины)

Силумины (АЛ2, АЛ4, АЛ9) имеют высокую жидкотекучесть, малую усадку (0,8...1%), не склонны к образованию горячих и холодных трещин, потому что по химическому составу близки к эвтектическим сплавам (интервал кристаллизации составляет 10...30 °С).

Остальные алюминиевые сплавы имеют низкую жидкотекучесть, повышенную усадку, склонны к образованию трещин.

Отливки из алюминиевых сплавов изготавливают литьем в кокиль, под давлением, в песчаные формы.

Используют кокили с вертикальным разъемом. Для получения плотных отливок устанавливают массивные прибыли. Металл подводят через расширяющиеся литниковые системы с нижним подводом металла к тонким сечениям отливки. Все элементы литниковой системы размещают в плоскости разъема кокиля.

Медные сплавы

Бронзы (БрО5Ц5С5, БрАЖЗЛ) и латуни (ЛЦ40Мц3А).

Все медные сплавы склонны к образованию трещин. Отливки изготавливаются литьем в песчаные и оболочковые формы, а также литьем в кокиль, под давлением, центробежным.

Для предупреждения образования усадочных раковин и пористости в массивных узлах отливок устанавливают прибыли. Для предупреждения появления трещин в отливках используют форму с высокой податливостью.

Для плавного поступления металла применяют расширяющиеся литниковые системы с верхним, нижним и боковым подводом. Для отделения оксидных пленок в литниковой системе устанавливают фильтры из стеклоткани.

Титановые сплавы

Имеют высокую химическую активность в расплавленном состоянии. Они активно взаимодействуют с кислородом, азотом, водородом и углеродом. Плавку этих сплавов ведут в вакууме или в среде защитных газов.

Основной способ производства титановых отливок – литье в графитовые формы, в оболочковые формы из нейтральных оксидов магния, циркония. При изготовлении сложных тонкостенных отливок применяют формы, полученные по выплавляемым моделям.

Дефекты отливок и их исправление

Дефекты отливок по внешним признакам подразделяют: на наружные (песчаные раковины, перекос недолив); внутренние (усадочные и газовые раковины, горячие и холодные трещины),

Песчаные раковины – открытые или закрытые пустоты в теле отливки, которые возникают из-за низкой прочности формы и стержней, слабого уплотнения формы и других причин.

Перекос – смещение одной части отливки относительно другой, возникающее в результате небрежной сборки формы, износа центрирующих штырей, несоответствия знаковых частей стержня на модели и в стержневом ящике, неправильной установке стержня.

Недолив – некоторые части отливки остаются незаполненными в связи с низкой температурой заливки, недостаточной жидко текучести, недостаточным сечением элементов литниковой системы.

Усадочные раковины – открытые или закрытые пустоты в теле отливки с шероховатой поверхностью и грубо кристаллическим строением.

Возникают при недостаточном питании массивных узлов, нетехнологичной конструкции отливки, заливки перегретым металлом, неправильная установка прибылей.

Газовые раковины – открытые или закрытые пустоты с чистой и гладкой поверхностью, которая возникает из-за недостаточной газопроницаемости формы и стержней, повышенной влажности формовочных смесей и стержней, насыщенности расплавленного металла газами.

Трещины горячие и холодные – разрывы в теле отливки, возникающие при заливке чрезмерно перегретым металлом, из-за неправильной конструкции литниковой системы, неправильной конструкции отливок, повышенной неравномерной усадки, низкой податливости форм и стержней.

Методы обнаружения дефектов

Наружные дефекты отливок обнаруживаются внешним осмотром после извлечения отливки из формы или после очистки.

Внутренние дефекты определяют радиографическими или ультразвуковыми методами дефектоскопии.

При использовании радиографических методов (рентгенография, гаммаграфия) на отливки воздействуют рентгеновским или гамма-излучением. С помощью этих методов выявляют наличие дефекта, размеры и глубину его залегания.

При ультразвуковом контроле ультразвуковая волна, проходящая через стенку отливки при встрече с границей дефекта (трещиной, раковиной) частично отражается. По интенсивности отражения волны судят о наличии, размерах и глубине залегания дефекта.

Трещины выявляют люминесцентным контролем, магнитной или цветной дефектоскопией.

Методы исправления дефектов

Незначительные дефекты исправляют заделкой замазками или мастиками, пропиткой различными составами, газовой или электрической сваркой.

Заделка замазками или мастиками – декоративное исправление мелких поверхностных раковин. Перед заполнением мастикой дефектные места очищают от грязи, обезжиривают. После заполнения исправленное место заглаживают, подсушивают и затирают пемзой или графитом.

Пропитывание применяют для устранения пористости. Отливки на 8...12 часов погружают в водный раствор хлористого аммония. Проникая в промежутки между кристаллами металла, раствор образует оксиды, заполняющий поры отливок.

Для устранения течи отливки из цветных металлов пропитывают бакелитовым лаком.

Газовую и электрическую сварку применяют для исправления дефектов на необрабатываемых поверхностях (раковины, сквозные отверстия, трещины). Дефекты в чугунных отливках заваривают с использованием чугунных электродов и присадочных прутков, в стальных отливках – электродами соответствующего состава.

Техника безопасности и охрана окружающей среды в литейном производстве

Производство отливок связано с использованием токсичных веществ (формовочные смеси с жидким стеклом). Должны быть предусмотрены меры, исключающие контакт обслуживающего персонала с едким натром. При работе со стержневыми смесями (синтетическая фенолформальдегидные смолы) запрещается работа без резиновых перчаток.

Места заливки литейных форм должны быть обеспечены вентиляцией для удаления продуктов сгорания.

При изготовлении литейных форм и литейных стержней на формовочных и стержневых машинах предусматриваются обязательные меры безопасности.

Машины литья под давлением должны быть снабжены блокировками, исключающими возможность создания давления до закрытия пресс-форм. Между машинами устанавливают защитные металлические щиты, предохраняющие от возможного аварийного выплеска из разъема формы.

Литейные цехи снабжены надежной вентиляцией, устройствами воздушных душей или тепловых завес на рабочих местах.

Шумопроизводящее оборудование размещают в специальных изолированных помещениях.

Для улучшения санитарно-гигиеничных условий труда широко внедряются: современные плавильные печи, в которых газы подвергаются очистке, а теплота утилизируется; установки для очистки дымовых газов от хлоридов; новые нетоксичные связующие материалы и технологические процессы изготовления стержней.

Охрану водных бассейнов осуществляют путем создания эффективных способов очистки загрязненных производственных стоков и оборотного водоснабжения. Сброс сточных вод осуществляется, если содержание вредных примесей ниже предельно допустимых концентраций. Для удаления грубодисперсных примесей применяют отстаивание, фильтрацию.

ЛЕКЦИЯ №12

Основные понятия обработки металлов давлением.

Прокатка, пресование, волочения, штамповка

Обработкой давлением называются процессы получения заготовок или деталей машин силовым воздействием инструмента на исходную заготовку из исходного материала.

Пластическое деформирование при обработке давлением, состоящее в преобразовании заготовки простой формы в деталь более сложной формы того же объема, относится к малоотходной технологии.

Обработкой давлением получают не только заданную форму и размеры, но и обеспечивают требуемое качество металла, надежность работы изделия.

Высокая производительность обработки давлением, низкая себестоимость и высокое качество продукции привели к широкому применению этих процессов.

Классификация процессов обработки давлением

Пластическое деформирование в обработке металлов давлением осуществляется при различных схемах напряженного и деформированного состояний, при этом исходная заготовка может быть объемным телом, прутком, листом.

По назначению процессы обработки металлов давлением группируют следующим образом:

– для получения изделий постоянного поперечного сечения по длине (прутков, проволоки, лент, листов), применяемых в строительных конструкциях или в качестве заготовок для последующего изготовления деталей – прокатка, волочение, пресование;

– для получения деталей или заготовок, имеющих формы и размеры, приближенные к размерам и формам готовых деталей, требующих механической

обработки для придания им окончательных размеров и заданного качества поверхности – ковка, штамповка.

Основными схемами деформирования объемной заготовки являются:

- сжатие между плоскостями инструмента – ковка;
- ротационное обжатие вращающимися валками – прокатка;
- затекание металла в полость инструмента – штамповка;
- выдавливание металла из полости инструмента – прессование;
- вытягивание металла из полости инструмента – волочение.

Характер пластической деформации зависит от соотношения процессов упрочнения и разупрочнения. Губкиным С.И. предложено различать виды деформации и, соответственно, виды обработки давлением.

Горячая деформация – деформация, после которой металл не получает упрочнения. Рекристаллизация успевает пройти полностью, новые равноосные зерна полностью заменяют деформированные зерна, искажения кристаллической решетки отсутствуют. Деформация имеет место при температурах выше температуры начала рекристаллизации.

Неполная горячая деформация характеризуется незавершенностью процесса рекристаллизации, которая не успевает закончиться, так как скорость ее недостаточна по сравнению со скоростью деформации. Часть зерен остается деформированными и металл упрочняется. Возникают значительные остаточные напряжения, которые могут привести к разрушению. Такая деформация наиболее вероятна при температуре, незначительно превышающей температуру начала рекристаллизации. Ее следует избегать при обработке давлением.

При *неполной холодной деформации* рекристаллизация не происходит, но протекают процессы возврата. Температура деформации несколько выше температуры возврата, а скорость деформации меньше скорости возврата. Остаточные напряжения в значительной мере снимаются, интенсивность упрочнения снижается.

При *холодной деформации* разупрочняющие процессы не происходят. Температура холодной деформации ниже температуры начала возврата.

Холодная и горячая деформации не связаны с деформацией с нагревом или без нагрева, а зависят только от протекания процессов упрочнения и разупрочнения. Поэтому, например, деформация свинца, олова, кадмия и некоторых других металлов при комнатной температуре является с этой точки зрения горячей деформацией.

Схемы напряженного и деформированного состояний

Схемы напряженного состояния графически отображают наличие и направление главных напряжений в рассматриваемой точке тела.

Напряжения в точке изображаются как напряжения на трех бесконечно малых гранях куба, соответственно перпендикулярных главным осям.

Возможны девять схем напряженного состояния (рис. 12.1.а). Напряженное состояние в точке может быть линейным, плоским или объемным.

Схемы с напряжениями одного знака называют одноименными, а с напряжениями разных знаков – разноименными. Условно растягивающие напряжения считают положительными, сжимающие – отрицательными.

Схема напряженного состояния оказывает влияние на пластичность металла. На значение главных напряжений оказывают существенное влияние силы трения, возникающие в месте контакта заготовки с инструментом, и форма инструмента. В условиях всестороннего неравномерного сжатия при прессовании, ковке, штамповке сжимающие напряжения препятствуют нарушению межкристаллических связей, способствуют развитию внутрикристаллических сдвигов, что благоприятно сказывается на процессах обработки металлов давлением. В реальных процессах обработки давлением в большинстве случаев встречаются схемы всестороннего сжатия и состояния с одним растягивающим и двумя сжимающими напряжениями.

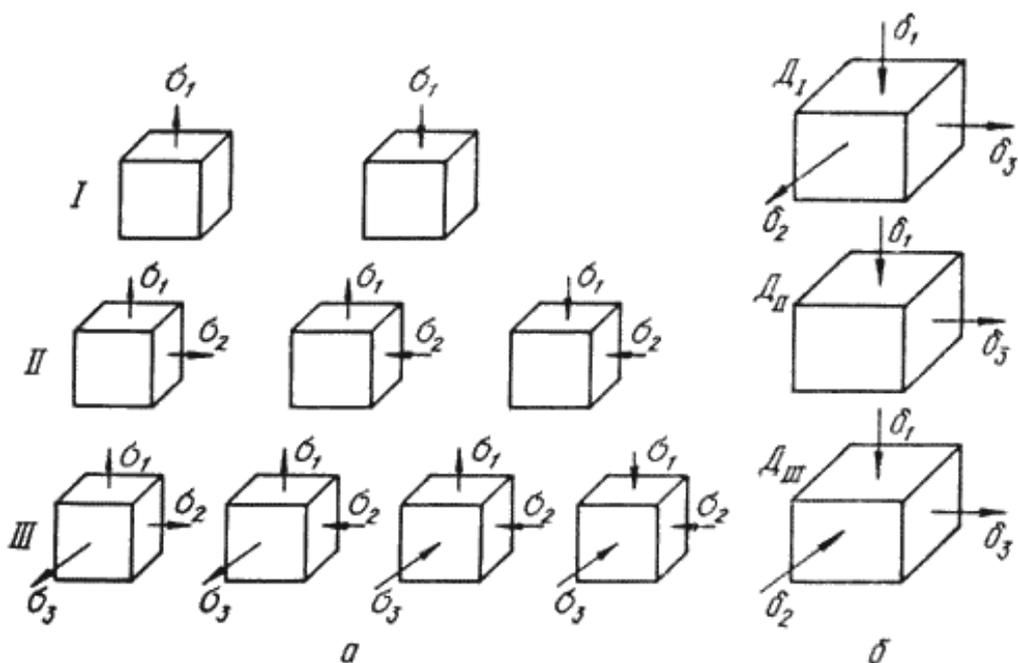


Рис. 12.1. Схемы напряженного (а) и деформированного (б) состояний:
I – линейное напряженное состояние; II – плоское; III – объемное

Схема деформированного состояния графически отображает наличие и направление деформации по трем взаимно перпендикулярным направлениям.

Возможны три схемы деформированного состояния (рис. 12.1.б).

При схеме D_I уменьшаются размеры тела по высоте, за счет этого увеличиваются два других размера (осадка, прокатка).

При схеме D_{II} происходит уменьшение одного размера, чаще высоты, другой размер (длина) увеличивается, а третий (ширина) не изменяется. Например, прокатка широкого листа, когда его ширина в процессе прокатки практически не изменяется. Это схема плоской деформации.

Наиболее рациональной с точки зрения производительности процесса обработки давлением является схема Д_{III}: размеры тела уменьшаются по двум направлениям, и увеличивается третий размер (прессование, волочение).

Совокупность схем главных напряжений и главных деформаций характеризуют пластичность металла. Напряженное состояние при прессовании металла характеризуется такой же схемой напряженного состояния, как при ковке, а схема главных деформаций характеризуется двумя деформациями сжатия и одной – растяжения. При ковке и штамповке растягивающие напряжения играют большую роль, поэтому пластичность металла меньше.

ЛЕКЦИЯ №13

Пластическая деформация металлов.

Нагрев стали. Диапазон температуры обработки. Способы нагрева. Сущность холодной и горячей обработки металлов давлением

В зависимости от температурно-скоростных условий деформирования различают холодную и горячую деформацию.

Холодная деформация характеризуется изменением формы зерен, которые вытягиваются в направлении наиболее интенсивного течения металла. При холодной деформации формоизменение сопровождается изменением механических и физико-химических свойств металла. Это явление называют *упрочнением* (наклепом). Изменение механических свойств состоит в том, что при холодной пластической деформации по мере ее увеличения возрастают характеристики прочности, а характеристики снижаются. Металл становится более твердым, но менее пластичным. Упрочнение возникает вследствие поворота плоскостей скольжения, увеличение искажений кристаллической решетки в процессе холодного деформирования (накопление дислокаций у границы зерен).

Изменение, внесенные холодной деформацией в структуру и свойства металла не обратимы. Они могут быть устранены, например с помощью термической обработки (отжигом).

В этом случае происходит перестройка, при которой за счет дополнительной тепловой энергии, увеличивается подвижность атомов и в твердом металле без фазовых превращений из множества центров растут новые зерна заменяющие собой вытянутые “деформированные зерна”.

Явление зарождения и роста, новых равноосных зерен взамен деформированных, вытянутых, происходящее при определенных температурах, называется *рекристаллизацией*. Для чистых металлов рекристаллизация начинается при абсолютной температуре, равной 0,4 абсолютной температуре плавления металла. Горячая обработка металлов давлением производится при температурах, значительно превышающих температуру их рекристаллизации, когда скорость процесса упрочнения, вызванного деформацией. При этом микроструктура металла после обработки давлением

оказывается равноосной, без следов упрочнения. Зерна в металле получаются тем мельче, чем больше степень деформации.

Перед горячей обработкой давлением металлы и стали нагревают до определенной температуры (начало горячей обработки давлением) для повышения их пластичности и уменьшения сопротивления деформации. Однако в процессе обработки температура металла понижается. Минимальная температура, при которой можно производить обработку, называется температурой окончания обработки давлением. Область температуры между началом и окончанием, в которой металл или сплав обладает наилучшей пластичностью, наименьшей склонностью к росту зерна и минимальным сопротивлением деформированию, называют температурным интервалом горячей обработки давлением.

При этом температура нагрева металла выбирается такой, чтобы не возник пережог либо перегрев. Пережог, характеризуется окислением металла на границе зерен, в результате чего он становится хрупким и при ударе разрушается. Перегрев сопровождается резким ростом размеров зерен, вследствие чего ухудшаются механические свойства.

Каждый металл и сплав имеет свой строго определенный температурный интервал горячей обработки давлением. Например, алюминиевый сплав АК4 – 470-350С; медный сплав БрАЖМц – 900-750С; титановый сплав Вt8 -1100-900С; сталь 45 – 1200-750С.

Заготовка должна быть равномерно нагрета по всему объему до требуемой температуры. Нагрев осуществляется в различных печах и нагревательных устройствах. Выбор способа нагрева заготовок определяется технико-экономическими соображениями.

Температурный интервал обработки давлением

Металлы и сплавы перед обработкой давлением нагревают до определенной температуры для повышения их пластичности и уменьшения сопротивления деформации. Эту температуру называют температурой начала горячей обработки давлением. Однако в процессе обработки температура металла понижается. Минимальную температуру, при которой можно производить обработку, называют температурой окончания обработки давлением. Область температур между началом и окончанием обработки, в которой металл или сплав обладает наилучшей пластичностью, наименьшей склонностью к росту зерна и минимальным сопротивлением деформации, называют температурным интервалом горячей обработки давлением.

Различают оптимальный (допустимый) и технологически необходимый интервалы температурковки, штамповки. Оптимальный интервал определяется разностью температурначала и концаковки, но точно установить эти температуры можно лишь на основании конкретных данных, касающихся металла (с металлургической, металловедческой и эксплуатационной точек зрения). Поэтому обычно указывают ориентировочные температуры, которые затем уточняют. Главный фактор, определяющий эти температуры, —

химический состав сплава и определяемые им свойства.

Температурный интервал обработки давлением выбирают с учетом диаграммы состояния сплавов. Сталь следует деформировать в определенном интервале температур, расположенном на диаграмме выше точки A_3 и ниже температуры начала плавления. В общем случае температуру начала обработки принимают на $15,0...200\text{ }^\circ\text{C}$ ниже линии солидуса, а конца обработки — на $25...50\text{ }^\circ\text{C}$ выше точки A_3 (для доэвтектоидных сталей) или точки A_x (для заэвтектоидных сталей). Из диаграммы железо—углерод видно (рис. 13.1), что с увеличением количества углерода в стали температурный интервал обработки сужается (заштрихованная область). При этом особенно резко снижается температура начала обработки.

При нагреве металлов и сплавов выше температуры начала горячей обработки начинается интенсивный рост зерна аустенита.

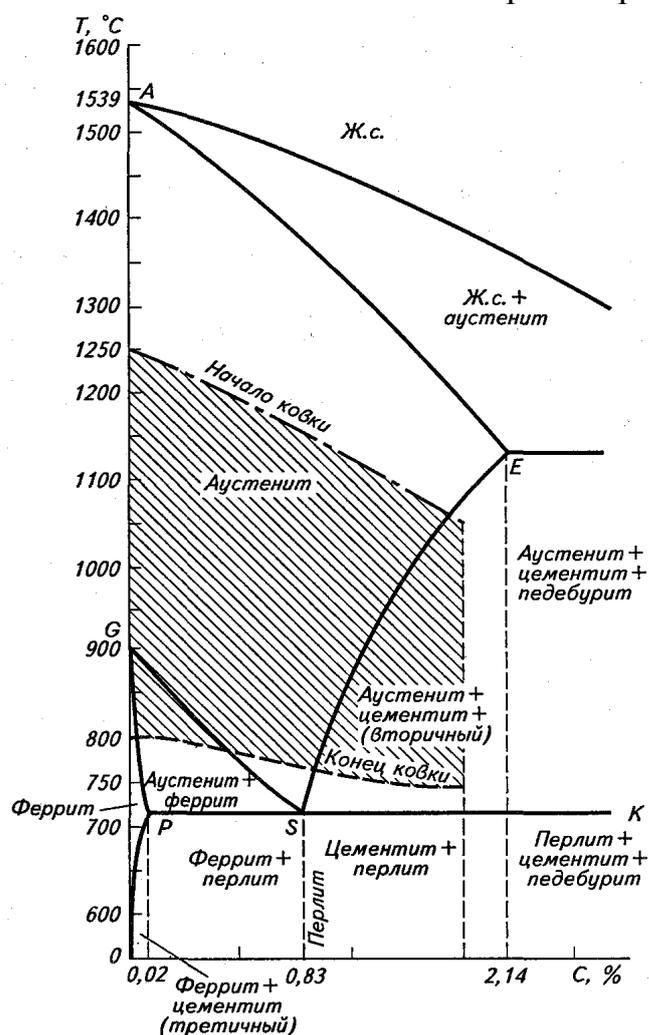


Рис. 13.1. Температурный интервал обработки давлением углеродистых сталей

Структура становится крупнозернистой, и происходит понижение ее пластических свойств. Это явление называется перегревом. Его считают дефектом, который в большинстве случаев можно устранить отжигом или нормализацией. Однако для некоторых сталей (например, хромоникелевых) исправление перегретого металла сопряжено со значительными трудностями и

простой отжиг оказывается недостаточным.

При дальнейшем повышении температуры нагрева происходит расплавление легкоплавких составляющих зерен, расположенных по границам. Кроме того, окисление границ зерен кислородом, содержащимся в рабочем пространстве печи, ведет к образованию между зернами хрупкой оксидной пленки и вызывает явление, называемое пережогом и сопровождающееся полной потерей пластичности. Пережог — неисправимый брак.

Нагрев заготовок до больших температур сопровождается и другими вредными явлениями. Металл нагреваемой заготовки, соприкасаясь и химически взаимодействуя с печными газами, содержащими кислород (водяной пар и диоксид углерода), окисляется и обезуглероживается. При этом на поверхности металла образуется окалина, состоящая из оксидов железа. Угар металла при нагреве в пламенных печах достигает 3 %. Кроме печных газов на количество образующейся окалины влияют температура нагрева, химический состав металла заготовки и отношение ее поверхности к объему. Например, при 1300 °С скорость окисления стальной заготовки в семь раз выше, чем при 850...900 °С. С повышением отношения поверхности заготовки к ее объему количество окалины возрастает. С увеличением содержания углерода в стали количество окалины при нагреве уменьшается. Уменьшают окалинообразование и некоторые химические элементы — алюминий, хром, кремний.

Окалина имеет большую твердость, чем разогретый металл, поэтому износ инструмента возрастает почти в два раза. Окалина ухудшает качество поверхности; толщина ее достигает 1,5...2 мм, что заставляет увеличивать припуски на последующую механическую обработку. Одновременно с окалинообразованием происходит обезуглероживание металла — выгорание углерода с поверхности заготовки. Обезуглероженный слой металла необходимо полностью удалять при обработке резанием.

Иногда технологи снижают верхнюю границу температурного интервалаковки из-за необходимости уменьшить чрезмерное окалинообразование или обезуглероживание металла. Это снижение более значительно для крупных заготовок, поскольку при их нагреве требуется большое время выдержки в печи.

При ковке литого металла (слитков) температура началаковки может быть несколько повышена. Применение ускоренного режима нагрева также позволяет повысить верхний предел температурного интервала, но во всех случаях металл должен выдерживать предусмотренные технологическим процессом деформации без трещинообразования. Если в началековки требуются небольшие деформации, то их можно осуществить при температурах, более высоких, чем при ковке с большими деформациями.

Нижнюю границу температурковки, штамповки уточнить более сложно. Здесь необходимо учитывать не только состав стали (заэвтектоидная или доэвтектоидная), но и объемпоковки, качество требуемого металла, наличие или отсутствие термообработкипоковки, способ их охлаждения (в том числе и

с использованием ковочной теплоты для термообработки и т. п.).

При установлении ковочных температур важно учитывать требования, предъявляемые к механическим свойствам металла с учетом характера эксплуатации детали.

Если для данной детали предусмотрена термическая обработка, например закалка с отпуском, то правильно выбранная температура конца ковки, штамповки (выше точки A_{r3} для среднеуглеродистой стали) позволяет использовать ковочную теплоту для последующей термической обработки. Если термическая обработка не предусмотрена, то нижний предел интервала ковочных температур ограничивается условиями получения мелкого зерна. Для небольших поковок (массой до 1000 кг) температура конца ковки, штамповки может быть высокой (на 200...300 °С выше точки A_{r3}) или низкой (вблизи этой точки). Несмотря на то, что при высокой температуре конца ковки или штамповки зерно будет крупным, можно в результате быстрого охлаждения получить тонкое строение структуры сплава и соответствующие этому механические свойства. Высокая температура конца обработки способствует улучшению технико-экономических показателей производства (росту производительности, уменьшению расхода энергии). Необходимо подбирать такое соотношение температуры и последних деформаций, которое обеспечивало бы оптимальную структуру. При этом следует иметь в виду, что сталь, подвергнутая деформации в интервале критических значений деформации (4...10%), после рекристаллизации будет иметь нежелательную крупнозернистую структуру.

Желательно, чтобы в температурном интервале обработки давлением металл находился в однофазном состоянии. В двух- или многофазном состоянии при низкой пластичности одной из фаз возможно разрушение металла. Исключения представляют доэвтектоидные стали, которые при температурах двухфазного состояния между линиями GS и PS (см. рис. 13.1) обладают достаточной пластичностью. Эта пластичность характерна и для заэвтектоидных сталей при температурах выше 750 °С, при которых между линиями GS и PS фиксируется двухфазная структура аустенит + вторичный цементит. Цементит располагается в виде сетки по границам зерен и снижает пластичность стали. Однако после разрушения этой сетки обработкой давлением пластичность стали восстанавливается.

Ковка, штамповка среднеуглеродистой стали оканчивается выше точки A_{r3} , что обеспечивает устойчивую мелкозернистую структуру стали. Для низкоуглеродистой стали (до 0,3% С) допустима более низкая температурная область конца ковки, штамповки (в промежутке между точками A_{r3} и A_{r1}), особенно для крупных поковок. При этом окончательный размер зерен меньше, чем при завершении ковки при температуре выше точки A_{r3} . Для заэвтектоидной стали, у которой структурно-свободной фазой является хрупкий цементит, температура конца ковки, штамповки должна быть по возможности более низкой, а охлаждение поковок – быстрым во избежание образования цементитной сетки при высокой температуре в конце обработки.

Для разрушения цементитной сетки следует оканчивать ковку, штамповку в интервале температур критических точек. В этом случае перед отжигом стали на зернистый перлит нет необходимости проводить нормализацию, а для отжига можно использовать ковочную теплоту. Окончание ковки и штамповки заэвтектоидной стали как можно ближе к точке A_{T1} неприемлемо для стали с большим содержанием углерода, у которой вследствие графитизации может образоваться такой брак, как «черный излом».

В цеховых условиях интервал ковочных температур иногда уточняют исходя из субъективных причин. Конец штамповки корректируют исходя из стойкости инструмента. Разогретые штампы быстро «салятся» при штамповке остывающей заготовки вследствие значительного увеличения сопротивления деформации. Иногда повышение температуры штамповки вызывается недостаточной мощностью используемого оборудования.

Как видно из графика на рисунке 13.1, максимальный интервал ковочных температур для низкоуглеродистой стали составляет $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, для эвтектоидной стали – $400\text{...}450\text{ }^{\circ}\text{C}$, заэвтектоидной – $200\text{...}300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для высоколегированной стали этот интервал температур еще меньше. Например, для жаропрочной стали он составляет $100\text{...}150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Интервал ковочных температур обычно уточняют в процессе следующих лабораторных исследований: определяют пластичность стали при осадке до появления первой трещины в пределах ориентировочного интервала ковочных температур; строят кривую изменения ударной вязкости в том же температурном интервале; определяют сопротивления деформации при температурах ориентировочного конца ковки, штамповки; строят график рекристаллизации металла после обработки с различной степенью деформации.

Фактически используемый интервал ковочных температур может точно совпасть с оптимальным интервалом лишь в частном случае при равенстве времени t_k , затрачиваемого на ковку, штамповку, и времени t_0 остывания стали в интервале ковочных температур при данных условиях обработки. Обе эти величины могут значительно изменяться в зависимости от сложности поковки и темпа работы, зависящего от степени механизации процесса и быстроходности оборудования. Если $t_k < t_0$, что часто встречается при штамповке, то допустимый интервал температур не используется и технологу следует решить вопрос, за счет какой из температур сократить этот интервал. Высокий нагрев металла без достаточной его проковки не обеспечивает необходимого качества металла даже за счет регулирования скорости охлаждения, поэтому в подобных случаях, чтобы избежать дополнительной термической обработки, приходится сокращать интервал температур за счет снижения верхнего порога температуры процесса. Если $t_k > t_0$, то ковку осуществляют в два или большее число приемов.

Температурные интервалы для ковки и штамповки различных легированных сталей и сплавов указаны в специальной литературе и справочниках.

Закономерности обработки давлением. Характеристики деформаций

Процессам обработки металлов давлением присущи определенные закономерности.

Закон постоянства объема. Пластическая деформация практически не влияет на плотность металла, поэтому действует закон постоянства объема: объем тела при его пластической деформации остается неизменным:

$$H \times B \times L = h \times b \times l, \frac{h \times b \times l}{H \times B \times L} = 1$$

где:

H – высота;

B – ширина;

L – длина – размеры тела до деформации;

h – высота;

b – ширина;

l – высота – размеры тела после деформации.

Закон применяется для расчетов объема и размеров исходной заготовки, необходимой для получения поковки с заданными размерами, а также переходов и изменения размеров заготовки в процессе деформирования.

Закон подобия. При осуществлении в одинаковых условиях одних и тех же процессов пластического деформирования геометрически подобных тел из одинакового материала отношение усилий деформирования равно квадрату, а отношение затраченных работ – кубу отношений соответствующих линейных размеров. Этот закон, основанный на принципе моделирования, используется для приближенного определения усилий деформирования и затрачиваемой работы.

Закон наименьшего сопротивления. В случае возможности перемещения точек деформируемого тела в различных направлениях, каждая точка перемещается в направлении наименьшего сопротивления.

Закон позволяет учесть предпочтительное направление течения металла, определить, какая часть полости штампа заполнится быстрее, какие размеры и форму будет иметь поперечное сечение заготовки в результате ее обработки давлением.

По этому закону, при наличии трения на контактной поверхности, заготовка прямоугольного сечения при осадке будет приобретать округлую форму, имеющую наименьший периметр при данной площади.

В этом случае направлением наименьшего сопротивления является кратчайшая нормаль к периметру сечения.

Деформацию принято оценивать следующими величинами.

1. Абсолютные деформации:

$H - h = \Delta h$ – обжатие;

$b - B = \Delta b$ – уширение;

$l - L = \Delta l$ – удлинение.

2. Относительные деформации:

$\frac{\Delta h}{H}$ или $\frac{\Delta h}{h}$ – относительное обжатие или относительная высотная деформация;

$\frac{\Delta b}{B}$ или $\frac{\Delta b}{b}$ – относительное уширение или относительная поперечная деформация;

$\frac{\Delta l}{L}$ или $\frac{\Delta l}{l}$ – относительное удлинение или относительная продольная деформация.

3. Коэффициент, определяющий изменение длины обрабатываемого изделия – $\mu = \frac{l}{L}$. Его называют *вытяжкой* или *коэффициентом вытяжки*.

Согласно закону постоянства объема $\mu = \frac{F}{f}$ (где: F – площадь поперечного сечения до деформации, f – площадь поперечного сечения после деформации).

Скорость деформации – изменение относительной деформации в единицу времени:

$$W = \frac{d\varepsilon}{dt}; W_{\text{ср.}} = \frac{\varepsilon}{t} \left(c^{-1}, \frac{\theta}{c} \right),$$

где: ε – степень деформации; t – время.

Скорость деформации следует отличать от скорости движения деформирующего инструмента и скорости течения металла при деформации. Диапазон скоростей деформации составляет $10^{-1} \dots 10^3$, c^{-1} .

Технологические свойства

При выборе металла или сплава для изготовления изделия различными способами обработки давлением учитывается способность материала к данному методу обработки.

Ковкость – свойство металла изменять свою форму под действием ударов или давления, не разрушаясь.

Степень ковкости зависит от многих параметров. Наиболее существенным из них является пластичность, характеризующая способность материала деформироваться без разрушения. Чем выше пластичность материала, тем большую степень суммарного обжатия он выдерживает.

В условиях обработки металлов давлением на пластичность влияют многие факторы: состав и структура деформируемого металла, характер напряженного состояния при деформации, неравномерность деформации, скорость деформации, температура деформации и др. Изменяя те или иные факторы, можно изменять пластичность.

Состав и структура металла. Пластичность находится в прямой зависимости от химического состава материала. С повышением содержания углерода в стали пластичность падает. Большое влияние оказывают элементы, входящие в состав сплава как примеси. Олово, сурьма, свинец, сера не растворяются в металле и, располагаясь по границам зерен, ослабляют связи между ними. Температура плавления этих элементов низкая, при нагреве под горячую деформацию они плавятся, что приводит к потере пластичности.

Пластичность зависит от структурного состояния металла, особенно при горячей деформации. Неоднородность микроструктуры снижает пластичность.

Однофазные сплавы, при прочих равных условиях, всегда пластичнее, чем двухфазные. Фазы имеют неодинаковые механические свойства, и деформация получается неравномерной. Мелкозернистые металлы пластичнее крупнозернистых. Металл слитков менее пластичен, чем металл прокатанной или ковальной заготовки, так как литая структура имеет резкую неоднородность зерен, включения и другие дефекты.

Характер напряженного состояния. Один и тот же материал проявляет различную пластичность при изменении схемы напряженного состояния. Еще в 112.12 году немецкий ученый Карман осаживал образцы из мрамора и песчаника, помещенные в толстостенный цилиндр, в который нагнетался глицерин под давлением до 170 МН/м^2 . Деформация происходила при схеме всестороннего сжатия. В результате остаточная деформация образцов составила 12. %, в дальнейшем удалось достигнуть деформации в 78 %. Схема всестороннего сжатия является наиболее благоприятной для проявления пластических свойств, так как при этом затрудняется межзеренная деформация и вся деформация протекает за счет внутризеренной. Появление в схеме растягивающих напряжений снижает пластичность. Самая низкая пластичность наблюдается при схеме всестороннего растяжения.

Неравномерность деформации. Чем больше неравномерность деформации, тем ниже пластичность. Неравномерность деформации вызывает появление дополнительных напряжений. Растягивающие напряжения всегда снижают пластичность и способствуют хрупкому разрушению. Кроме того, неравномерность напряженного состояния понижает механическую прочность материала, так как напряжения от внешней нагрузки суммируются с остаточными растягивающими напряжениями, то разрушение наступает при меньшей нагрузке.

Скорость деформации. С повышением скорости деформации в условиях горячей деформации пластичность снижается. Имеющаяся неравномерность деформации вызывает дополнительные напряжения, которые снимаются только в том случае, если скорость разупрочняющих процессов не меньше скорости деформации.

Влияние температуры. Качественная зависимость пластичности от температуры представлена на рис.12.2.

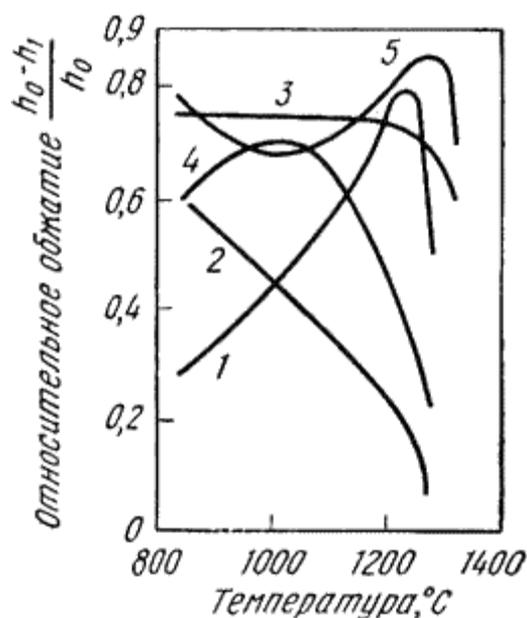


Рис. 12.2. Влияние температуры на пластичность сталей

Влияние температуры неоднозначно. Малоуглеродистые и среднеуглеродистые стали, с повышением температуры, становятся более пластичными (1). Высоколегированные стали имеют большую пластичность в холодном состоянии (2). Для шарикоподшипниковых сталей пластичность практически не зависит от температуры (3). Отдельные сплавы могут иметь интервал повышенной пластичности (4). Техническое железо в интервале 800...1000 °С характеризуется понижением пластических свойств (5). При температурах, близких к температуре плавления пластичность резко снижается из-за возможного перегрева и пережога.

Технологические испытания

Для оценки способности материала воспринимать определенную деформацию в условиях, максимально приближенных к производственным, служат технологические испытания. Такие оценки носят качественный характер. Они необходимы для определения пригодности материала для изготовления изделий по технологии, предусматривающей значительную и сложную пластическую деформацию.

Для определения способности листового материала толщиной до 2 мм выдерживать операции холодной штамповки (вытяжки) применяют метод испытания на вытяжку сферической лунки с помощью специальных пуансонов, имеющих сферическую поверхность (ГОСТ 10510). Схема испытания приведена на рис. 12.3.

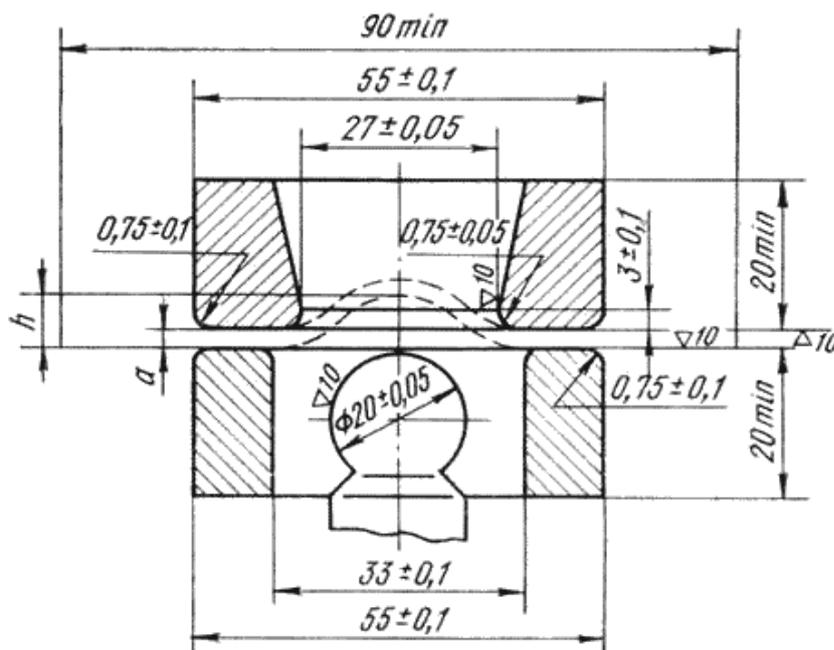


Рис. 12.3. Схема испытания на вытяжку сферической лунки по Эриксену

В процессе испытания фиксируется усилие вытяжки. Конструкция прибора предусматривает автоматическое прекращение процесса вытяжки в тот момент, когда усилие начинает уменьшаться (в материале появляются первые трещины). Мерой способности материала к вытяжке служит глубина вытянутой лунки.

Лист или ленту толщиной менее 4 мм испытывают на перегиб (ГОСТ 13813). Испытание проводят с помощью приспособления, изображенного на рис. 12.4.

Образец изгибают вначале влево или вправо на 120° , а затем каждый раз на 180° в противоположную сторону. Критерием окончания испытания является разрушение образца или достижение заданного числа перегибов без разрушения.

Проволоку из цветных и черных металлов испытывают на скручивание (ГОСТ 1545) с определением числа полных оборотов до разрушения образцов, длина которых обычно составляет $100 \times d$ (d – диаметр проволоки). Применяют также испытание на перегиб (ГОСТ 15712.) по схеме, аналогичной испытанию листового материала. Проводят пробу на навивание (ГОСТ 10447). Проволоку навивают плотно прилегающими витками на цилиндрический стержень определенного диаметра (рис. 12.5).

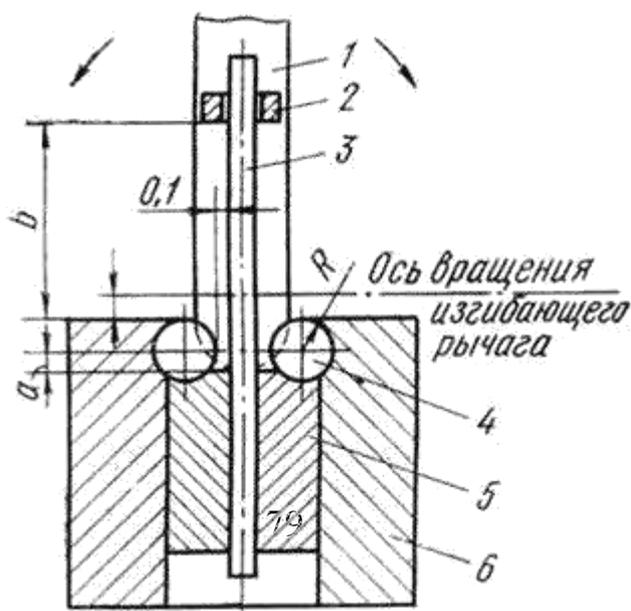


Рис. 12.4. Схема испытания на перегиб
 1 – рычаг; 2 – сменный поводок; 3 – образец; 4 – валики; 5 – губки; 6 - тиски

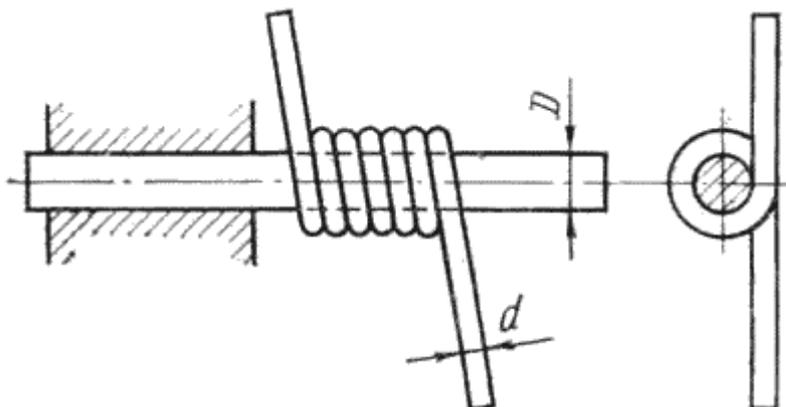


Рис.12.5. Проба на навивание проволоки

Число витков должно быть в пределах 5...10. Признаком того, что образец выдержал испытание, является отсутствие после навивания расслоения, отслаивания, трещин или надрывов как в основном материале образца, так и в его покрытии.

Для труб с внешним диаметром не более 114 мм применяют пробу на загиб (ГОСТ 3728). Испытание заключается в плавном загибе отрезка трубы любым способом на угол 120° (рис. 12.6. а) так, чтобы его наружный диаметр ни в одном месте не стал меньше 85 % от начального. ГОСТ устанавливает величину радиуса загиба R в зависимости от диаметра трубы D и толщины стенки S . Образец считается выдержавшим испытание, если на нем после загиба не обнаружено нарушений сплошности металла. Образцы сварных труб должны выдерживать испытания при любом положении шва.

Испытание на бортование (ГОСТ 8612.3) применяют для определения способности материала труб образовывать фланец заданного диаметра D (рис. 12.6.б). Признаком того, что образец выдержал испытание, служит отсутствие после отбортовки трещин или надрывов. Допускается отбортовка с предварительной раздачей на оправке.

Испытание на раздачу (ГОСТ 8612.4) выявляет способность материала трубы выдерживать деформацию при раздаче на конус до определенного диаметра D_c заданным углом конусности α (рис. 12.6.в). Если после раздачи образец не имеет трещин или надрывов, то он считается выдержавшим испытание.

Для труб предусмотрены испытание на сплющивание до определенного размера H (рис. 12.6.г), причем для сварных труб ГОСТ 8685 предусматривает положение шва (рис.12.6.д), испытание гидравлическим давлением.

Для испытания проволоки или прутков круглого и квадратного сечения, предназначенных для изготовления болтов, гаек и других крепежных деталей методом высадки, используют пробу на осадку (ГОСТ 8817). Стандарт рекомендует определенную степень деформации. Критерием годности является отсутствие трещин, надрывов, расслоений на боковой поверхности образца.

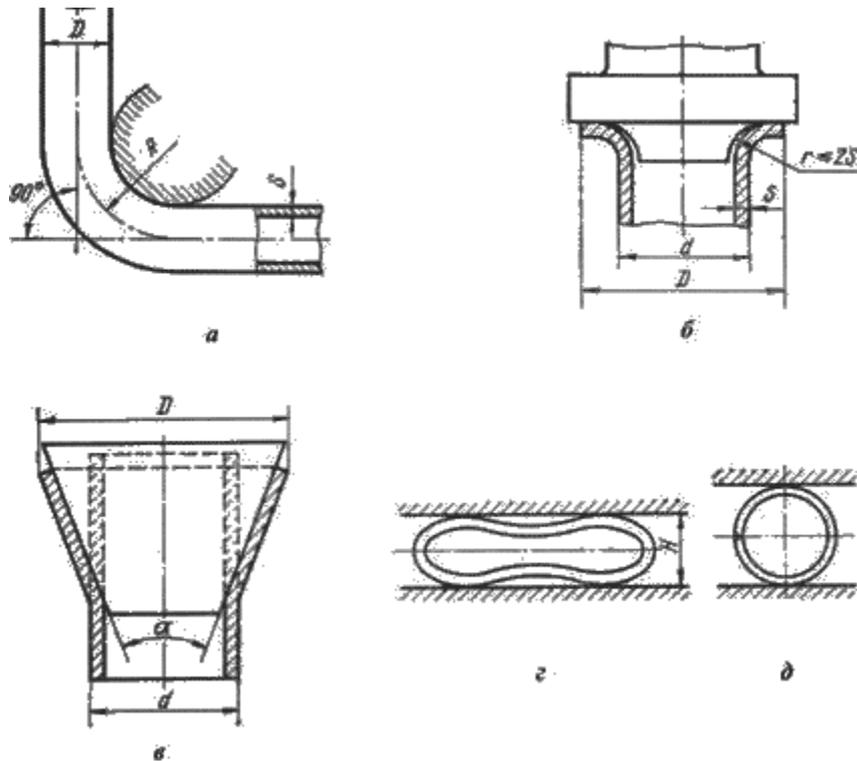


Рис. 12.6. Схемы испытаний труб:
 а – на загиб; б – на бортование; в – на раздачу; г, д – на сплющивание

Для прутковых материалов широко применяется проба на изгиб: загиб до определенного угла (рис. 12.7.а), загиб до параллельности сторон (рис.12.7.б), загиб до соприкосновения сторон (рис. 12.7.в).

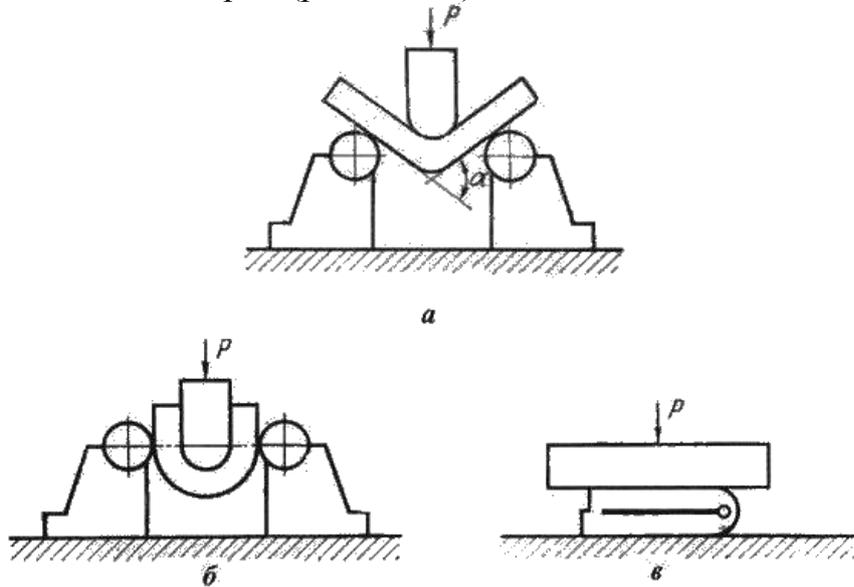


Рис. 12.7. Схемы испытаний на изгиб:
 а – загиб до определенного угла; б – загиб до параллельности сторон; в – до соприкосновения сторон

ЛЕКЦИЯ №14
ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ
ДАВЛЕНИЕМ

Прокатка, волочения, прессования, ковка и штамповка. Трубы технология производства.

Прокатка

Сущность процесса прокатки заключается в деформировании (обжатии) металла между вращающимися валками, зазор между которыми меньше толщины обжимаемой заготовки.

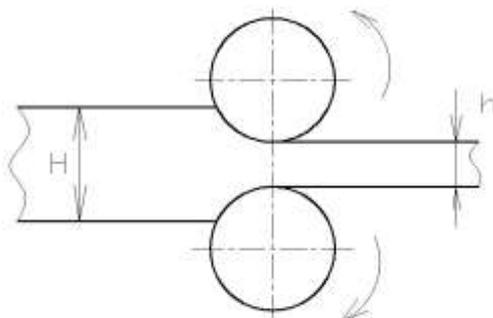


Рис. 14.1 Прокатка

В результате обжатия поперечное сечение заготовки уменьшается, а длина и ширина увеличивается. Деформацию заготовки обычно определяют относительным обжатием, % :

$$E_H = \frac{H - h}{H} \cdot 100, (1)$$

где E - высота заготовки.

Практика производится гладкими цилиндрическими волоками и волоками, имеющими на своей поверхности особые проточки, называемые ручьями. При плотном соприкосновении волоков их ручьи образуют закрытые контуры, называемые калибрами. Комплект практических волоков со станиной называют рабочей клетью.

Практика гладкими волоками дает листы и ленты, а ручьевыми волоками – различные прокатные профили.

Обычно относительное обжатие заготовки за один проход не превышает даже для горячего металла 70 – 30 %, поэтому окончательный профиль продукта получается многократным процессом повторения обработки заготовки при постепенном уменьшении зазора между волоками. При каждом пропуске заготовки площадь её поперечного сечения уменьшается, а форма и размеры постепенно приближаются к требуемым.

При горячей прокатке стали гладкими волоками угол захвата равен 15-24°, при холодной – 3-8°, сортового металла 25-27°.

Технологический процесс современного прокатного производства, не зависимо от вида получаемой продукции, состоит из нескольких этапов: подготовки исходного материала, нагрев его (в случае горячей прокатки), прокатки и отделки. Кроме того, на всех стадиях прокатки осуществляется контроль за ходом процесса и состоянием оборудования.

Волочение

При волочении заготовку протягивают через постепенно сужающееся отверстие в инструменте, называемое *волокой*. При этом сечение отверстия меньше исходного сечения заготовки.

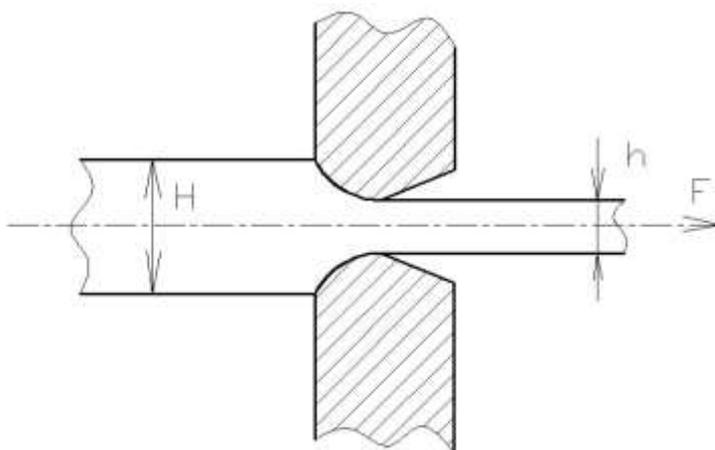


Рис. 14.2. Волочение

В результате волочения поперечное сечение заготовки уменьшается, а длина увеличивается.

Процесс волочения осуществляется в *холодном состоянии* и используется для получения тонкой проволоки (от 0.002 до 5 мм), калиброванных продуктов различного профиля и тонкостенных труб. При этом получают изделие точных размеров, заданной геометрической формы, с чистой и гладкой поверхностью.

Заготовками могут служить прокат (катаная проволока, прутки, трубы), а так же прессованные профили (прутки, трубы). Окончательные размеры изделий обеспечиваются протягиванием (волочением заготовки) через несколько последовательно расположенных волок, так как степень обжатия материала за один проход сравнительно не велика. Волока (фильер, глазок) изготавливаются из инструментальной стали (У7, У12, Х12М), металлокерамических сплавов (ВК3, ВК6) или технического алмаза.

Технологический процесс волочения состоит из 3 основных стадий:

1. подготовка металла (очистка от окалины, смазывания, заделка концов);
2. волочение по определенному режиму;
3. отделки (удаление дефектов, правка, разрезание на мерные длины, маркировка, консервационное смазывание и пр.).

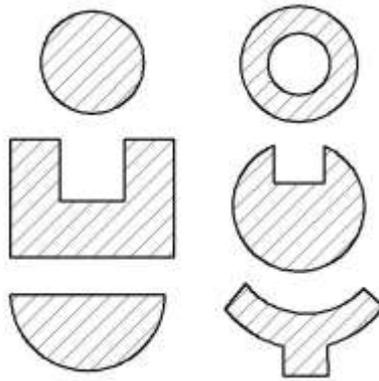


Рис. 14.3. Примеры профилей, получаемых волочением и т. д.

Прессование

Прессование – это процесс выдавливания металла, заключенного в замкнутой плоскости контейнера, через отверстие матрицы, сечение которого меньше площади сечения контейнера, а форма соответствует форме готового изделия.

Процесс прессования осуществляется при температурах *горячей обработки* металлов давлением, т.е. при их высокой пластичности.

Прессованию подвергают алюминий, медь и сплавы на их основе, цинк, олово, свинец. Прессованием получают разнообразные профили (см. рис.) из специальных сталей, титановых сплавов и других малопластичных металлов; профили сложной формы, которые не могут быть получены другим способом; обычные профили небольших размеров (например, трубы из цветных металлов).

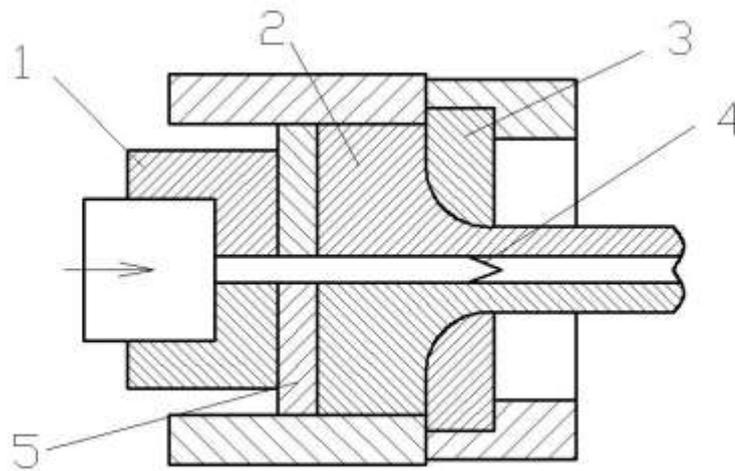


Рис. 14.4. Схема прессования полого профиля. 1 – пуансон; 2 – металл заготовки; 3 – матрица; 4 – игла; 5 – пресс-шайба;

При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию и поэтому имеет весьма высокую пластичность.

Прутки диаметром 3-250мм; трубы диаметром 20-400мм со стенкой 1,5-

12, профили сплошные, полые, с постоянными и переменными

Исходной заготовкой для прессования служит слиток, или прокат круглого сечения. Прессование производится на горизонтальных либо вертикальных гидравлических прессах.

Процесс прессования высокопроизводителен и обеспечивает высокую точность профиля получаемых изделий. Простая замена инструмента – матрицы – позволяет легко переходить к изготовлению изделия другого вида.

Особые требования при прессовании предъявляются к инструменту (матрицам, прессшайбам, пуансонам) работающему в условиях высоких температур и больших нагрузок. Обычно этот инструмент изготавливают из высоколегированных сталей и сплавов, содержащих вольфрам, ванадий, молибден, хром, и другие элементы.

Метод прессования в силу сложности оборудования и высокой стоимости инструмента применяются главным образом в условиях массового производства сложных профилей.

К недостаткам прессования следует отнести большие отходы металла, т.к. весь металл не может быть выдавлен из контейнера.

Ковка

Ковка – вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется с помощью универсального инструмента. Нагретую заготовку укладывают на плоский боек и верхним бойком последовательно деформируют отдельные ее участки. Металл свободно течет в стороны, не ограниченные рабочими поверхностями инструмента, в качестве которого применяют плоские или фигурные (вырезные бойки, а также различный подкладочный инструмент).

Ковкой получают заготовки для последующей механической обработки. Их называют поковками.

В единичном и мелко серийном производствах ковка экономически более целесообразна, чем штамповка, т.к. при ковке используется универсальный инструмент.

К основным формообразующим операциям относятся: осадка, высадка, протяжка, прошивка, отрубка, гибка.

Осадка – операция уменьшения высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения.

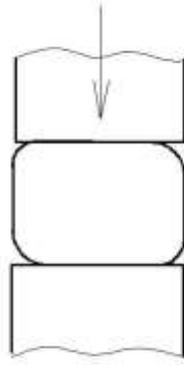


Рис. 14.5. Осадка

Высадка – металл осаживается лишь на части длины заготовки.



Рис. 14.6. Высадка

Протяжка – операция удлинения заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения.

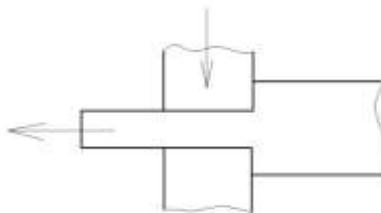


Рис. 14.7. Протяжка

Прошивка – операция получения полостей в заготовке за счет вытеснения металла.

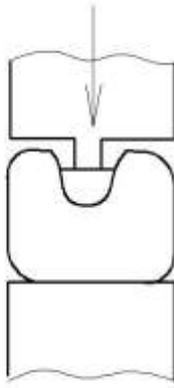


Рис. 14.8. Прошивка

Отрубка – операция отделения части заготовки по незамкнутому контуру путем внедрения в заготовку деформируемого инструмента.

Гибка – операция придания заготовке прогнутой формы по заданному контуру.

Горячая объемная штамповка

Объемной штамповкой называют процесс получения поковок, при котором формообразующую полость штампа, называемую ручьем, принудительно заполняют металлом исходной заготовки и перераспределяют его в соответствии с заданной чертежом конфигурацией.

Применение объемной штамповки оправдано при серийном и массовом производстве. При использовании этого способа значительно повышается производительность труда, снижаются отходы металла, обеспечиваются высокие точность формы изделия и качество поверхности. Штамповкой можно получать очень сложные по форме изделия, которые невозможно получить приемами свободнойковки.

Объемную штамповку осуществляют при разных температурах исходной заготовки и, в соответствии с температурой, делят на холодную и горячую. Наиболее широкое распространение получила горячая объемная штамповка (ГОШ), которую ведут в интервале температур, обеспечивающих снятие упрочнения.

Исходным материалом для горячей объемной штамповки являются сортовой прокат, пресованные прутки, литая заготовка, в крупносерийном производстве – периодический прокат, что обеспечивает сокращение подготовительных операций.

Формообразование при горячей объемной штамповке

Основная операция ГОШ может быть выполнена за один или несколько переходов. При каждом переходе формообразование осуществляется специальной рабочей полостью штампа – *ручьём (гравюрой)*. Переходы и ручки делятся на две группы: заготовительные и штамповочные. Схема технологического процесса получения сложной заготовки в нескольких ручьях представлена на рис.14.1.

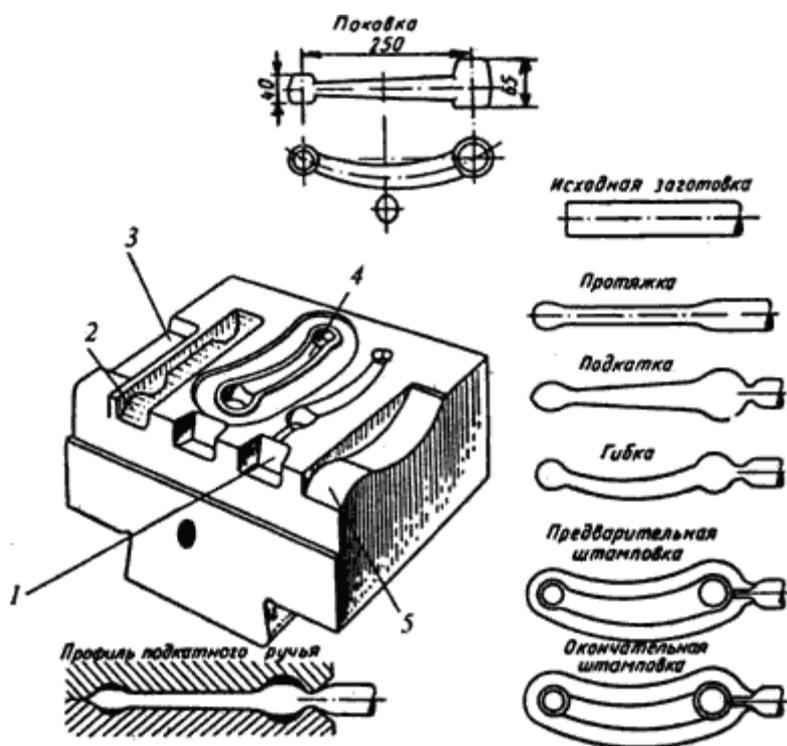


Рис. 14.9. Стадии получения сложной поковки в нескольких ручьях
 1 – черновой ручей; 2 – подкатной ручей; 3 – протяжной ручей; 4 – чистовой ручей, 5 – гибочный ручей

Заготовительные ручки предназначены для фасонирования в штампах.

Фасонирование – перераспределение металла заготовки с целью придания ей формы, обеспечивающей последующую штамповку с малым отходом металла.

К заготовительным ручьям относятся протяжной, подкатной, гибочный и пережимной, а также площадка для осадки.

Протяжной ручей предназначен для увеличения длины отдельных участков заготовки за счет уменьшения площади их поперечного сечения, выполняемого воздействием частых слабых ударов с кантованием заготовки.

Подкатной ручей служит для местного увеличения сечения заготовки (набора металла) за счет уменьшения сечения рядом лежащих участков, то есть для распределения объема металла вдоль оси заготовки в соответствии с распределением его в поковке. Переход осуществляется за несколько ударов с кантованием.

Пережимной ручей предназначен для уменьшения вертикального размера заготовки в местах, требующих уширения. Выполняется за 1...3 удара.

Гибочный ручей применяют только при штамповке поковок, имеющих изогнутую ось. Служит для придания заготовке формы поковки в плоскости разреза. Из гибочного ручья в следующий заготовку передают с поворотом на 90°.

При штамповке поковок, имеющих в плане форму окружности или близкую к ней, часто применяют осадку исходной заготовки до требуемых размеров по высоте и диаметру. Для этого на плоскости штампа предусматривают *площадку для осадки*.

Штамповочные ручьи предназначены для получения готовой поковки. К штамповочным ручьям относятся черновой (предварительный) и чистовой (окончательный).

Черновой ручей предназначен для максимального приближения формы заготовки к форме поковки сложной конфигурации. Глубина ручья несколько больше, а поперечные размеры меньше, чем у чистового ручья (чтобы заготовка свободно укладывалась в чистовой ручей). Радиусы скругления и уклоны увеличиваются. В открытых штампах черновой ручей не имеет облойной канавки. Применяется для снижения износа чистового ручья, но может отсутствовать.

Чистовой ручей служит для получения готовой поковки, имеет размеры «горячей поковки», то есть больше, чем у холодной поковки, на величину усадки. В открытых штампах по периметру ручья предусмотрена облойная канавка, для приема избыточного металла. Чистовой ручей расположен в центре штампа, так как в нем возникают наибольшие усилия при штамповке.

Технологический процесс ГОШ отличается значительным разнообразием и определяется выбором самого изделия и применяемым оборудованием.

Технологический процесс зависит от формы поковки. По форме в плане поковки делятся на две группы: диски и поковки удлиненной формы.

К первой группе относятся круглые или квадратные поковки, имеющие сравнительно небольшую длину: шестерни, диски, фланцы, ступицы, крышки и др. Штамповка таких поковок производится осадкой в торец исходной заготовки с применением только штамповочных переходов.

Ко второй группе относятся поковки удлиненной формы: валы, рычаги, шатуны и др. Штамповка таких поковок производится протяжкой исходной заготовки (плашмя). Перед окончательной штамповкой таких поковок в штамповочных ручьях требуется фасонирование исходной заготовки в заготовительных ручьях штампа, свободной ковкой или на ковочных вальцах.

Так как характер течения металла в процессе штамповки определяется типом штампа, то этот признак можно считать основным для классификации способов штамповки. В зависимости от типа штампа выделяют штамповку в открытых и закрытых штампах (рис. 14.10).

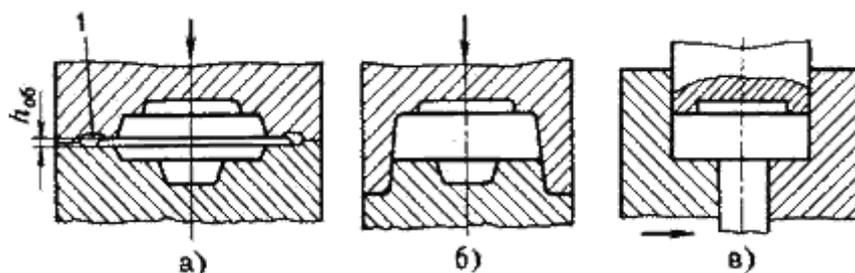


Рис. 14.1. Схемы штамповки в открытых и закрытых штампах: 1 – облойная канавка

Штамповка в открытых штампах (рис.14.10.а) характеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа. В этот зазор вытекает часть металла – облой, который закрывает выход из полости штампа и заставляет остальной металл заполнить всю полость. В конечный момент деформирования в облой выжимаются излишки металла, находящиеся в полости, что позволяет не

предъявлять высокие требования к точности заготовок по массе. Штамповкой в открытых штампах можно получить поковки всех типов.

Штамповка в закрытых штампах (рис.14.10.б) характеризуется тем, что полость штампа в процесс деформирования остается закрытой. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа постоянный и небольшой, образование в нем облоя не предусмотрено. Устройство таких штампов зависит от типа машины, на которой штампуют. Например, нижняя половина штампа может иметь полость, а верхняя – выступ (на прессах), или верхняя – полость, а нижняя – выступ (на молотах). Закрытый штамп может иметь две взаимно перпендикулярные плоскости разъема (рис. 14.11.в).

При штамповке в закрытых штампах необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и поковки, иначе при недостатке металла не заполняются углы полости штампа, а при избытке размер поковки по высоте будет больше требуемого. Отрезка заготовок должна обеспечивать высокую точность.

Существенное преимущество штамповки в закрытых штампах – уменьшение расхода металла из-за отсутствия облоя. Поковки имеют более благоприятную структуру, так как волокна обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в облой. Металл деформируется в условиях всестороннего неравномерного сжатия при больших сжимающих напряжениях, это позволяет получать большие степени деформации и штамповать малопластичные сплавы.

Чертеж поковки

Чертеж поковки является основным документом при разработке технологического процесса и проектировании штампа. Его выполняют на основе чертежа детали по ГОСТ 7505 – Поковки стальные штампованные.

Сначала необходимо выбрать поверхность разъема, т.е. поверхность, по которой соприкасаются между собой верхняя и нижняя половины штампа. Обычно эта поверхность является плоскостью или сочетанием плоскостей. Она необходима для установки исходной заготовки и удаления из штампа готовой поковки. Поверхность разъема устанавливают в плоскости двух наибольших габаритных размеров, при этом полости штампа имеют наименьшую глубину.

При штамповке в открытых штампах плоскость разъема должна обеспечивать контроль сдвига верхней и нижней частей штампа после обрезки облоя. Для этого она должна пересекать вертикальную поверхность поковки (рис. 14.12.а). Желательно плоскость разъема располагать так, чтобы естественные уклоны облегчали удаление поковки из штампа (рис. 14.12.б) даже без выталкивателей и без существенного упрощения формы детали.

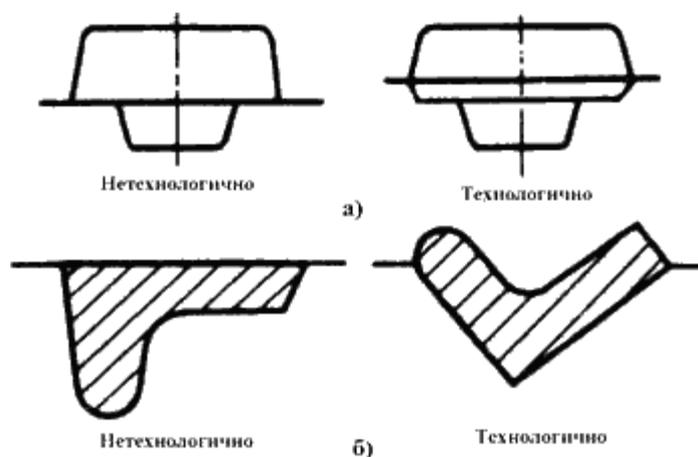


Рис. 14.12. Выбор плоскости разъема штампа

В некоторых случаях положение плоскости разъема определяется макроструктурой металла. Например, при штамповке шестерен плоскость разъема должна быть перпендикулярна к оси детали. В этом случае макроструктура получается одинаковой у всех зубьев шестерни и обеспечивает их высокую прочность. На рис. 14.13 показан выбор положения разъема штампа по условиям работы детали. Если деталь работает на срез по линии $a - a$, то волокна металла должны располагаться перпендикулярно к линии среза (положение $II - II$). Положение плоскости разъема $I - I$ в данном случае нежелательно.

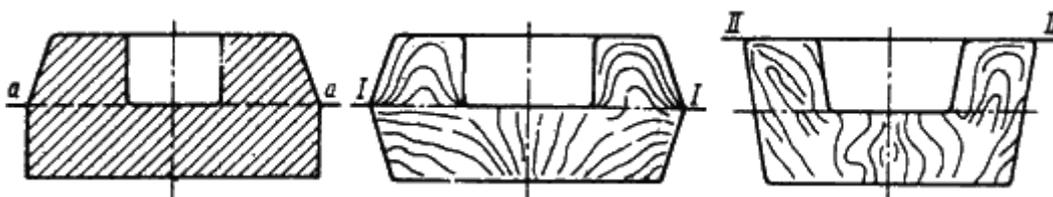


Рис.14.13. Схема к выбору плоскости разъема с учетом условий работы детали

При выборе плоскости разъема необходимо учитывать использование поверхностей поковки в качестве баз при механической обработке. Базы должны быть цилиндрическими, без штамповочных уклонов. При этом припуск на механическую обработку должен быть одинаков в направлении обработки.

При штамповке в закрытых штампах плоскость разъема выбирают по торцевой наибольшей поверхности детали.

Припуски на механическую обработку регламентируются ГОСТ 7505 с учетом точности поковки, которая определяется видом оборудования и технологией ГОШ (открытая или закрытая) и назначаются в основном на сопрягаемые поверхности.

Допуски учитывают возможные отклонения от номинальных размеров вследствие недоштамповки по высоте, сдвига частей штампов, их износа и т.п.

К кузнечным напускам относятся штамповочные уклоны, внутренние радиусы закруглений, перемычки отверстий.

Штамповочные уклоны назначаются сверх припуска, они повышают отход металла при механической обработке и утяжеляют поковку. Для наружных поверхностей, вследствие температурной усадки, уклоны меньше, чем для внутренних поверхностей.

Все пересекающиеся поверхности сопрягаются по радиусам. Это необходимо для лучшего заполнения полости штампа и предохранения его от преждевременного износа и поломок. Радиусы скругления зависят от глубины полости штампа. Внутренние радиусы скругления в 3...4 раза больше, чем наружные. Наружные радиусы обычно составляют 1...6⁰.

При штамповке в штампах с одной плоскостью разъема нельзя получить сквозное отверстие в поковке, поэтому наносят только наметку отверстия с перемычкой-пленкой, удаляемой впоследствии в специальных штампах. Толщина перемычки (S) устанавливается в зависимости от диаметра отверстия (D), $S = 0.1 \times D$, но не должна быть менее 4 мм. Отверстия диаметром менее 30 мм не штампуются

Технологический процесс горячей объемной штамповки

Технологический процесс изготовления поковки включает следующие операции: отрезка проката на мерные заготовки, нагрев, штамповка, обрезка облоя и пробивка пленок, правка, термическая обработка, очистка поковок от окалины, калибровка, контроль готовых поковок.

Перед штамповкой заготовки должны быть нагреты равномерно по всему объему до заданной температуры. При нагреве должны быть минимальными окалинообразование (окисление) и обезуглероживание поверхности заготовки. Используются электроконтактные установки, в которых заготовка, зажата медными контактами, нагревается при пропускании по ней тока; индукционные установки, в которых заготовка нагревается вихревыми токами; газовые печи, с безокислительным нагревом заготовок в защитной атмосфере.

Штамповку осуществляют в открытых и закрытых штампах. В открытых штампах получают поковки удлиненной и осесимметричной формы. В закрытых штампах – преимущественно осесимметричные поковки, в том числе из малопластичных материалов. Поковки простой формы штампуют в штампах с одной полостью. Сложные поковки с резкими изменениями сечений по длине, с изогнутой осью и т.п. штампуют в многооручьевых штампах.

После штамповки в открытых штампах производят обрезание облоя и пробивку пленок в специальных штампах, устанавливаемых на кривошипных прессах (рис. 14, 15).

Правку штампованных поковок выполняют для устранения искривления осей и искажения поперечных сечений, возникающих при затрудненном извлечении поковок из штампа, после обрезания облоя, после термической обработки. Крупные поковки и поковки из высокоуглеродистых и высоколегированных сталей правят в горячем состоянии либо в чистовом ручье штампа сразу после обрезания облоя, либо на обрезном прессе (обрезной штамп совмещается с правочным штампом), либо на отдельной машине. Мелкие поковки правят на винтовых прессах в холодном состоянии после термической обработки.

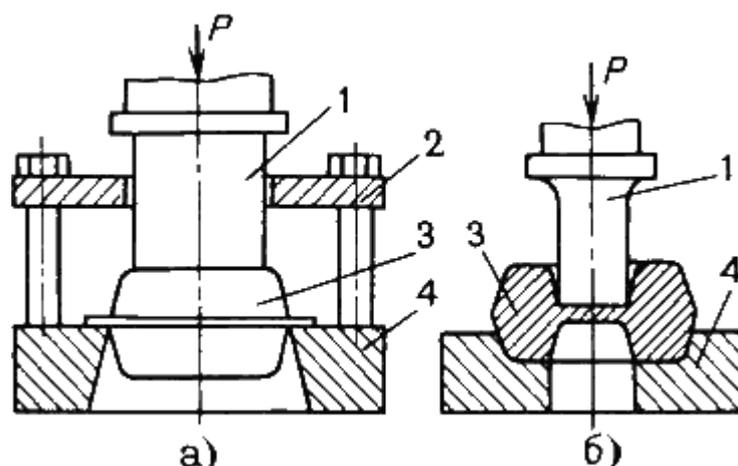


Рис. 14.15. Схемы обрезания обля (а) и пробивки пленок (б)

Очистку поковок от окалины производят для облегчения контроля поверхности поковок, уменьшения износа металлорежущего инструмента и правильной установки заготовки на металлорежущих станках. На дробеструйных установках окалину с поковок, перемещающихся по ленте конвейера, сбивают потоком быстро летящей дроби диаметром 1...2 мм. В галтовочных барабанах окалина удаляется благодаря ударам поковок друг о друга и о металлические звездочки, закладываемые во вращающийся барабан.

Калибровка поковок повышает точность размеров всей поковки или отдельных ее участков. В результате этого последующая механическая обработка устраняется полностью или ограничивается только шлифованием. Различают плоскостную и объемную калибровку. Плоскостная калибровка служит для получения точных вертикальных размеров на одном или нескольких участках поковки. Объемной калибровкой повышают точность размеров поковки в разных направлениях и улучшают качество ее поверхности. Калибруют в штампах с ручьями, соответствующими конфигурации поковки.

Холодная штамповка

Холодная штамповка производится в штампах без нагрева заготовок и сопровождается деформационным упрочнением металла.

Холодная штамповка является одним из наиболее прогрессивных методов получения высококачественных заготовок небольших и точных из стали и цветных металлов. Она обеспечивает достаточно высокую точность и малую шероховатость поверхности при малых отходах металла и низкой трудоемкости и себестоимости изготовления изделий. Возможность осуществления холодной штамповки и качество заготовок определяются качеством исходного материала. Большое значение имеет подготовка поверхности заготовок: удаление окалины, загрязнений и поверхностных дефектов.

Процессы холодной штамповки часто выполняют за несколько технологических переходов, постепенно приближая форму и размеры заготовок к форме и размерам готовых изделий и осуществляя промежуточный отжиг для снятия наклепа и восстановления пластических свойств металла. В зависимости от характера деформирования и конструкции штампов холодную штамповку делят на

объемную и листовую.

Объемная холодная штамповка

Холодную объемную штамповку выполняют на прессах или специальных холодноштамповочных автоматах. Основными ее разновидностями являются: высадка, выдавливание, объемная формовка, чеканка.

Высадка – образование на заготовке местных утолщений требуемой формы в результате осадки ее конца (рис. 14.16).

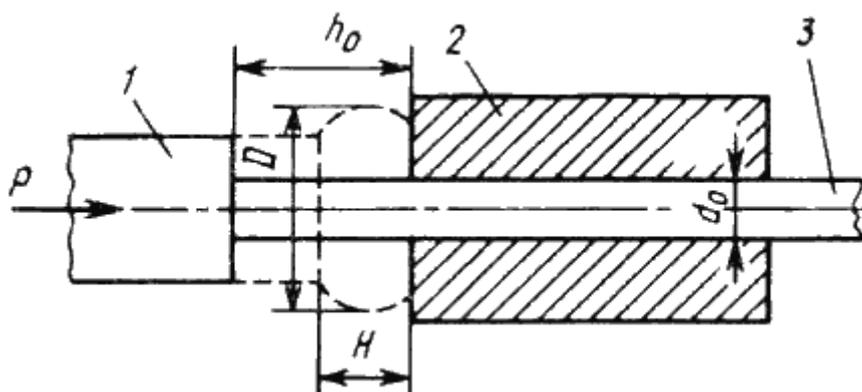


Рис.14.16. Схема высадки

Заготовкой обычно служит холоднотянутый материал в виде проволоки или прутка из черных или цветных металлов. Высадкой изготавливают стандартные и специальные крепежные изделия, кулачки, валы-шестерни, детали электронной аппаратуры, электрические контакты и т.д.

Длина высаживаемой части (h_0) рассчитывается с учетом объема требуемого утолщения (V) по формуле:
$$h_0 = \frac{4 \times V}{\pi \times d_0^2}.$$

Расчет числа переходов производится в основном по соотношению длины высаживаемой части (h_0) и диаметра заготовки (d_0), которое характеризует устойчивость к продольному изгибу. При $\frac{h_0}{d_0} < 2.3$ используют один переход, при $\frac{h_0}{d_0} < 5$ – два перехода, при $\frac{h_0}{d_0} < 8$ – три перехода. При большом количестве переходов происходит упрочнение металла, поэтому требуется отжиг.

Последовательность переходов изготовления деталей показана на рис. 14.17.: за три перехода (рис. 14.17.а); за пять переходов (рис. 14.17.б).

Выдавливание – формообразование сплошных или полых изделий, благодаря пластическому течению металла из замкнутого объема через отверстия соответствующей формы.

Особенностью процесса является образование в очаге деформации схемы трехосного неравномерного сжатия, повышающего технологическую пластичность материала.

Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание (рис. 14.18).

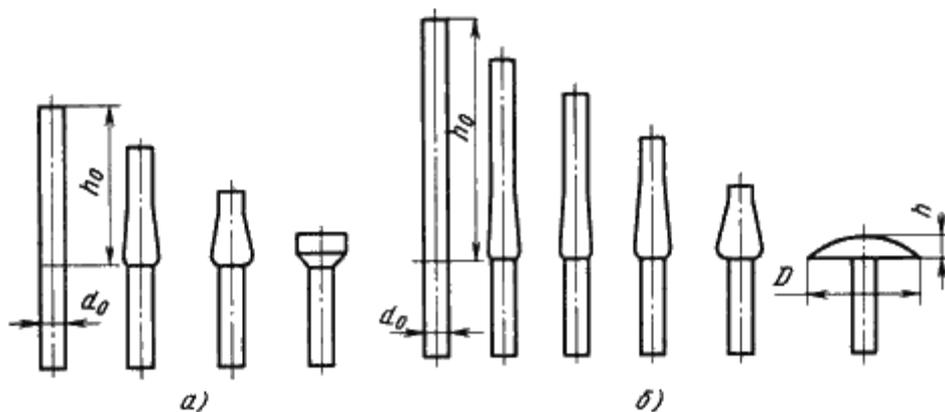


Рис.14.17. Последовательность переходов изготовления детали

Высадка осуществляется на прессах, горизонтально-ковочных машинах, автоматических линиях, оснащенных холодновысадочными пресс-автоматами.

При *прямом* выдавливании металл течет из матрицы 2 в направлении, совпадающем с направлением движения пуансона 1 (рис.14.18.а, 14.18.б). Этим способом можно получить детали типа стержня с утолщением, трубки с фланцем, стакана с фланцем.

При *обратном* выдавливании металл течет в направлении, противоположном направлению движения пуансона, в кольцевой зазор между пуансоном и матрицей для получения полых деталей с дном (рис. 14.18.в) или в полый пуансон для получения деталей типа стержня с фланцем (рис. 14.18.г).

При *боковом* выдавливании металл течет в боковые отверстия матрицы под углом к направлению движения пуансона (рис.14.18.ж). Таким образом, можно получить детали типа тройников, крестовин и т.п. Для обеспечения удаления заготовок из штампа матрицу выполняют состоящей из двух половинок с плоскостью разъема, проходящей через осевые линии исходной заготовки и получаемого отрезка.

При *комбинированном* выдавливании металл течет по нескольким направлениям (рис.14.18.д, 14.18.е). Возможны сочетания различных схем.

Заготовки для выдавливания отрезают от прутков или вырубают из листа. Размер заготовок рассчитывают с учетом потерь на последующую обработку. Форма заготовки и ее размеры для полых деталей без фланца соответствуют наружным размерам детали; для деталей с фланцем – диаметру фланца; для деталей стержневого типа – размерам головки.

Выдавливание можно осуществлять и в горячем состоянии.

Она производится в открытых штампах, где излишки металла вытекают в специальную полость для образования облоя (рис.14.19.а), и в закрытых штампах, где облой не образуется (рис.14.19.б). Формовку в закрытых штампах применяют реже из-за больших сложности и стоимости получения заготовок точного объема, необходимости использования более мощного оборудования и меньшей стойкости штампов. В закрытых штампах получают в основном детали из цветных металлов.

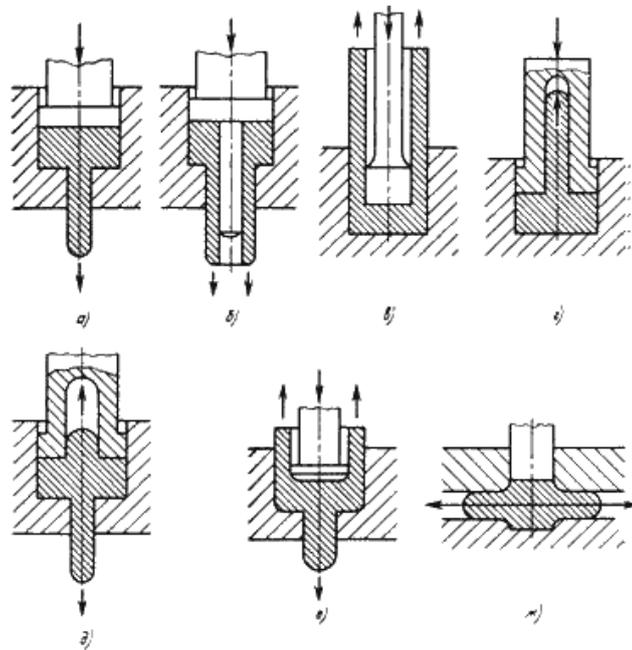


Рис. 14.18. Схемы выдавливания:
а,б – прямого; в, г – обратного; д, е – комбинированного; ж - бокового

Объемная формовка – формообразование изделий путем заполнения металлом полости штампа.

Схемы объемной формовки представлены на рис.14.19.

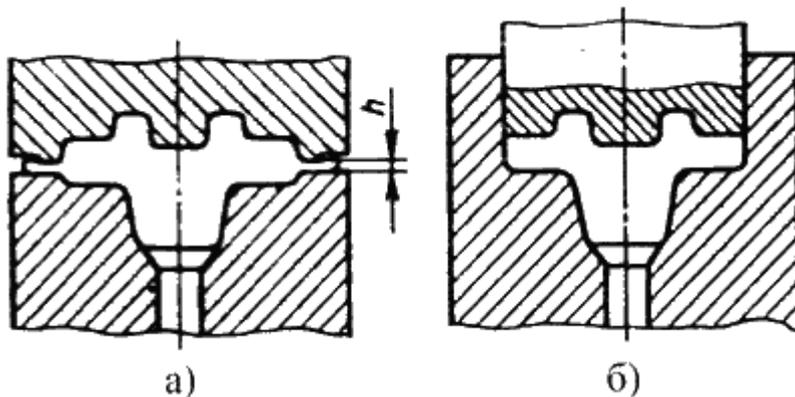


Рис.14.19. Схемы объемной формовки: а – в открытых штампах; б – в закрытых штампах

Объемной формовкой изготавливают пространственные детали сложных форм, сплошные и с отверстиями. Холодная объемная формовка требует значительных удельных усилий вследствие высокого сопротивления металла деформированию в условиях холодной деформации и упрочнения металла в процессе деформации. Упрочнение сопровождается снижением пластичности металла. Для облегчения процесса деформирования оформление детали расчленяется на переходы, между которыми заготовку подвергают рекристаллизационному отжигу. Каждый переход осуществляют в специальном штампе, а между переходами обрезают облой для уменьшения усилия деформирования и повышения точности размеров деталей.

Заготовкой служит полоса или пруток, причем процесс штамповки может осуществляться непосредственно в полосе или прутке или из штучных заготовок.

В качестве оборудования используют прессы, однопозиционные и

многопозиционные автоматы.

Чеканка – образование рельефных изображений на деформируемом материале.

Чеканка осуществляется в закрытых штампах на чеканочных фрикционных и гидравлических прессах.

При холодной штамповке коэффициент использования материала достигает 95 %. При холодном деформировании формируется благоприятная ориентированная волокнистая структура металла, что придает деталям высокую усталостную прочность при динамических нагрузках. Это позволяет получать конструкции с меньшими размерами и металлоемкостью, чем у конструкций, полученных обработкой резанием, не снижая при этом их надежность. Но для холодной объемной штамповки требуется дорогостоящий специальный инструмент, что делает целесообразным ее применение только в массовом и крупносерийном производствах.

Листовая штамповка

Листовая штамповка – один из видов холодной обработки давлением, при котором листовой материал деформируется в холодном или подогретом состоянии.

Листовой штамповкой изготавливаются разнообразные плоские и пространственные детали – от мелких, массой от долей грамма и размерами в доли миллиметра (секундная стрелка часов), до средних (металлическая посуда, крышки, кронштейны) и крупных (облицовочные детали автомобилей).

Толщина заготовки при листовой штамповке обычно не более 10 мм, но иногда может превышать 20 мм, в этом случае штамповка осуществляется с предварительным подогревом до ковочных температур.

При листовой штамповке используют: низкоуглеродистые стали, пластичные легированные стали, цветные металлы и сплавы на их основе, драгоценные металлы, а также неметаллические материалы: органическое стекло, фетр, целлулоид, текстолит, войлок и др.

Листовую штамповку широко применяют в различных отраслях промышленности, особенно, автомобилестроении, ракетостроении, самолетостроении, приборостроении, электротехнической промышленности.

Основные преимущества листовой штамповки:

- возможность изготовления прочных легких и жестких тонкостенных деталей простой и сложной формы, получить которые другими способами невозможно или затруднительно;
- высокие точность размеров и качество поверхности, позволяющие до минимума сократить механическую обработку;
- сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающая высокую производительность (30 000...40 000 деталей в смену с одной машины);
- хорошая приспособляемость к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически выгодна и в массовом, и в мелкосерийном производствах.

Холодная листовая штамповка заключается в выполнении в определенной последовательности разделительных и формоизменяющих операций, посредством которых исходным заготовкам придают форму и размеры детали.

Операцией листовой штамповки называется процесс пластической деформации, обеспечивающий характерное изменение формы определенного участка заготовки.

Различают *разделительные* операции, в которых этап пластического деформирования обязательно завершается разрушением, и *формообразующие* операции, в которых заготовка не должна разрушаться в процессе деформирования. При проектировании технологического процесса изготовления деталей листовой штамповкой основной задачей является выбор наиболее рациональных операций и последовательности их применения, позволяющих получить детали с заданными эксплуатационными свойствами при минимальной себестоимости и хороших условиях труда.

Все операции выполняются при помощи специальных инструментов – штампов, которые имеют различные конструкции в зависимости от назначения. Штампы состоят из рабочих элементов – матрицы и пуансона, и вспомогательных частей – прижимов, направляющих, ограничителей и т.д. Пуансон вдавливается в деформируемый металл или охватывается им, а матрица охватывает изменяющую форму заготовку и пуансон.

Операции листовой штамповки

Разделительные операции предназначены или для получения заготовки из листа или ленты, или для отделения одной части заготовки от другой. Операции могут выполняться по замкнутому или по незамкнутому контуру.

Отделение одной части заготовки от другой осуществляется относительным смещением этих частей в направлении, перпендикулярном к плоскости заготовки. Это смещение вначале характеризуется пластическим деформированием, а завершается разрушением.

Отрезка – отделение части заготовки по незамкнутому контуру на специальных машинах – ножницах или в штампах.

Обычно ее применяют как заготовительную операции для деления листов на полосы и заготовки нужных размеров.

Основные типы ножниц представлены на рис. 14.20.

Ножницы с поступательным движением режущих кромок ножа могут быть с параллельными ножами, для резки узких полос, с одним наклонным ножом – гильотинные (рис.14.20.а). Режущие кромки в гильотинных ножницах наклонены друг к другу под углом $1...5^{\circ}$ для уменьшения усилия резания. Лист подают до упора, определяющего ширину отрезаемой полосы B . Длина отрезаемой полосы L не должна превышать длины ножей.

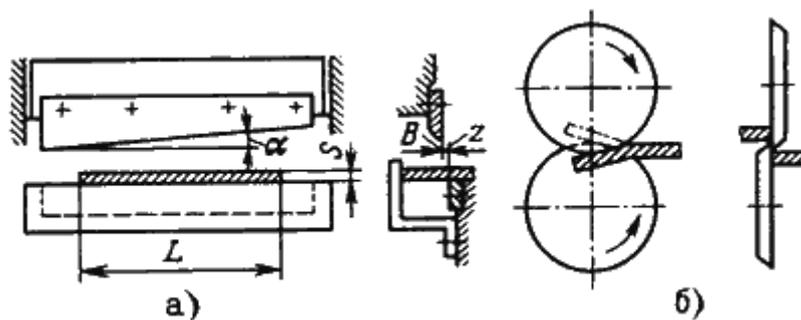


Рис. 14.20. Схемы действия ножниц: а – гильотинных; б – дисковых

Ножницы с вращательным движением режущих кромок – дисковые (рис.14.20.б). Длина отрезаемой заготовки не ограничена инструментом. Вращение дисковых ножей обеспечивает не только разделение, но и подачу заготовки под действием сил трения. Режущие кромки ножей заходят одна за другую, это обеспечивает прямолинейность линии отрезки. Для обеспечения захвата и подачи заготовки диаметр ножей должен быть в 30...70 раз больше толщины заготовки, увеличиваясь с уменьшением коэффициента трения.

Вырубка и пробивка – отделение металла по замкнутому контуру в штампе.

При вырубке и пробивке характер деформирования заготовки одинаков. Эти операции отличаются только назначением. Вырубкой оформляют наружный контур детали, а пробивкой – внутренний контур (изготовление отверстий).

Вырубку и пробивку осуществляют металлическими пуансоном и матрицей. Пуансон вдавливает часть заготовки в отверстие матрицы. Схема процессов вырубки и пробивки представлена на рис. 14.21.

Основным технологическим параметром операций является радиальный зазор между пуансоном и матрицей z . Зазор z назначают в зависимости от толщины (s) и механических свойств заготовки, он приблизительно составляет $(0.05...0.1)s$. При вырубке размеры отверстия матрицы равны размерам изделия, а размеры пуансона на $2z$ меньше их. При пробивке размер пуансона равен размерам отверстия, а размеры матрицы на $2z$ больше их.

Уменьшение усилия резания достигается выполнением скоса на матрице при вырубке, на пуансоне – при пробивке.

При штамповке мало- и среднегабаритных деталей из одной листовой заготовки вырубает несколько плоских заготовок для штамповки. Между смежными контурами вырубаемых заготовок оставляют перемычки шириной, примерно равной толщине заготовки. В отдельных случаях смежные заготовки вырубает без перемычек (экономия металла при ухудшении качества среза и снижении стойкости инструмента).

Расположение контуров смежных вырубаемых заготовок на листовом материале называется раскромом. Часть заготовки, оставшаяся после вырубки – высечкой.

Высечка составляет основной отход при листовой штамповке. Тип раскром следует выбирать из условия уменьшения отхода металла в высечку (рис. 14.22).

Экономия металла может быть получена: уменьшением расхода металла на перемычки, применением безотходного и малоотходного раскром, повышением точности расчета размеров заготовки и уменьшением припусков на обрезку.

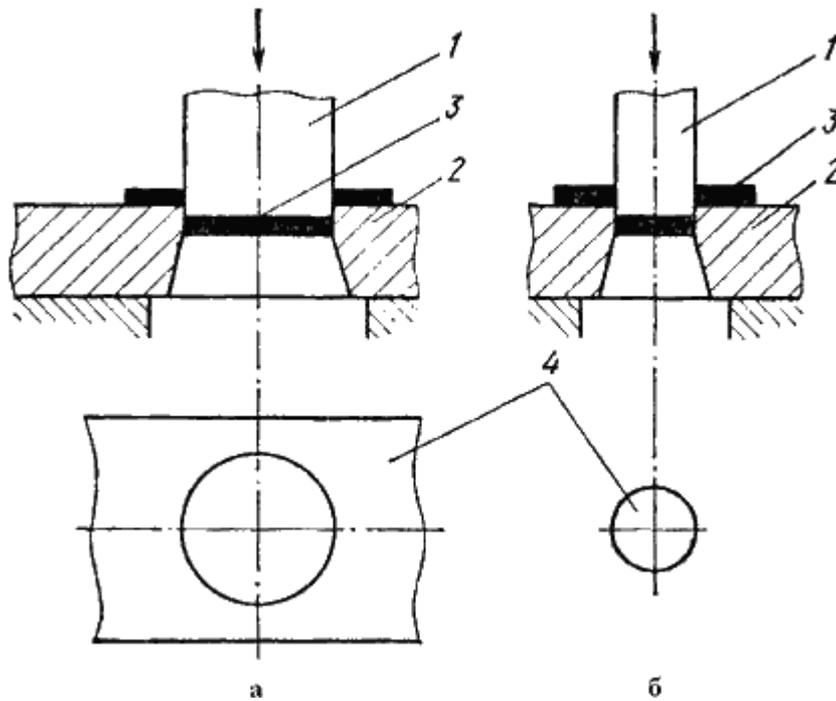


Рис. 14.21. Схема процессов вырубki (а) и пробивки (б)
1 – пуансон, 2 – матрица, 3 – изделие, 4 – отход

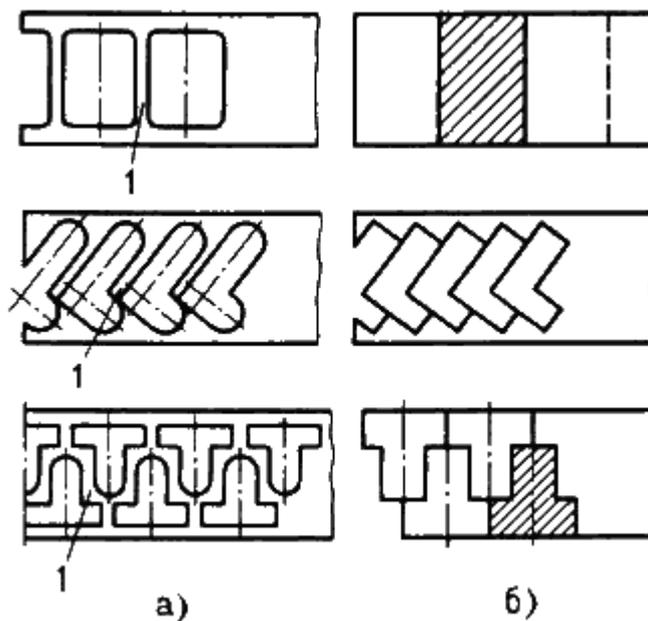


Рис.14.22. Примеры раскроя материала с перемычками (а) и без перемычек (б)

Листовая штамповка

Формообразующие операции листовой штамповки

При формообразующих операциях стремятся получить заданную величину деформации, чтобы заготовка приобрела требуемую форму.

Основные формообразующие операции: гибка, вытяжка, отбортовка, обжим, раздача, рельефная формовка. Схемы формообразующих операций представлены на рис. 14.23.

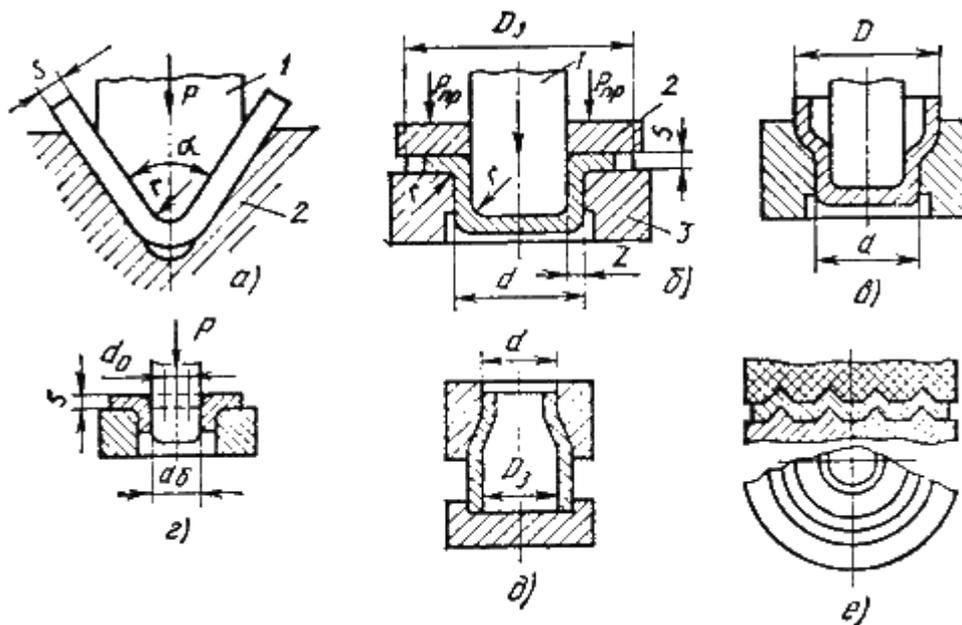


Рис. 14.23. Формообразующие операции листовой штамповки

Гибка – образование угла между частями заготовки или придание заготовке криволинейной формы.

При гибке пластически деформируется только участок заготовки в зоне контакта с пуансоном 1 (рис. 14.23.а): наружные слои заготовки растягиваются, а внутренние – сжимаются. Деформация растяжения наружных слоев и сжатия внутренних увеличивается с уменьшением радиуса скругления рабочего торца пуансона, при этом возрастает вероятность образования трещин. Поэтому минимальный радиус пуансона ограничивается величиной в пределах 0.1...2,0 от толщины заготовки, в зависимости от механических свойств материала.

При снятии нагрузки растянутые слои заготовки упруго сжимаются, а сжатые – растягиваются, что приводит к изменению угла гибки α , т.е. к пружинению детали. Это следует учитывать или уменьшением угла инструмента на величину пружинения, или применением в конце рабочего хода дополнительного усилия.

Гибку производят в штампах, а также вращающимися фигурными роликами, играющими роль матрицы, на профилегибочных станах.

Вытяжка – образование полого изделия из плоской или полый заготовки (рис.14.23.б).

Вырубленную заготовку диаметром D_3 и толщиной S укладывают на плоскость матрицы 3. Пуансон 1 надавливает на заготовку и она, смещаясь в отверстие матрицы, образует стенки вытянутой детали диаметром d .

Формоизменение при вытяжке оценивают коэффициентом вытяжки $k_B = \frac{D_3}{d}$, который в зависимости от механических характеристик металла и условий вытяжки не должен превышать 2,1.

При $D_3 - d > (18...20)S$, возможны потеря устойчивости фланца и образование складок при вытяжке. Их предотвращают прижимом 2 фланца заготовки к матрице с определенным усилием $P_{\text{пр}}$.

Высокие детали малого диаметра получают за несколько операций вытяжки с постепенным уменьшением диаметра D полуфабриката и увеличением его высоты (рис. 14.23.в). При последующих переходах для предотвращения разрушения металла принимают

$$k_B = \frac{D}{d} = 1.2...1.4$$

Промежуточный отжиг для устранения наклепа позволяет увеличить k_B до 1,4...1,6.

Опасность разрушения заготовок устраняют применением смазочных материалов для уменьшения сил трения между поверхностями заготовок и инструмента.

При вытяжке зазор между матрицей и пуансоном составляет $(1...1.3)S$.

Отбортовка – получение борта диаметром d_b путем вдавливания центральной части заготовки с предварительно пробитым отверстием d_o в матрицу (рис.14.23.г).

Формоизменение оценивают коэффициентом отбортовки

$$k_{\text{II}} = \frac{d_b}{d_o} < 1.8,$$

который зависит от механических характеристик металла заготовки и ее относительной толщины $\frac{S}{d_o}$. Большое увеличение диаметра можно получить, если заготовку отжечь перед отбортовкой или изготовить отверстие резанием, создающим меньшее упрочнение у края отверстия.

Отбортовку применяют для изготовления кольцевых деталей с фланцами и для образования уступов в деталях для нарезания резьбы, сварки, а также для увеличения жесткости конструкции при малой массе.

Выделяется отбортовка наружного контура – образование невысоких бортов по наружному криволинейному краю заготовки.

Обжим – уменьшение периметра поперечного сечения концевой части полой заготовки.

Производится заталкиванием заготовки в сужающуюся полость матрицы (рис. 14.23.д). За один переход можно получить $d = (0.7...0.8)D_3$. Для большего формоизменения выполняют несколько последовательных операций обжима.

Раздача – увеличение периметра поперечного сечения концевой части полой заготовки коническим пуансоном; это операция противоположная обжиму.

Рельефная формовка – местное деформирование заготовки с целью образования рельефа в результате уменьшения толщины заготовки (рис. 14.23.е).

Формовкой получают конструкционные выступы и впадины, ребра жесткости, лабиринтные уплотнения.

Штампы для листовой штамповки делятся по технологическому признаку в зависимости от выполняемой операции: вырубные, гибочные, вытяжные и т.д. В

зависимости от числа выполняемых операций различают одно- и многооперационные штампы. Многооперационные штампы бывают последовательного действия, в которых операции выполняются последовательно при перемещении заготовки по нескольким рабочим позициям штампа, и совмещенного действия, в которых операции выполняются на одной позиции, например, одновременно вырубка и пробивка, вырубка и вытяжка и т.д.

В настоящее время применяют специальные конструкции штампов, в которых металлические пуансоны или матрицы отсутствуют, и давление на материал осуществляется при помощи резины, жидкости или сжатого воздуха (рис.14.24). При этом резина или жидкость легко удаляются из штампованной детали, а матрица должна быть разъемной.

При изготовлении небольших по глубине изделий пуансон заменяет резиновая подушка (рис.14.24.а). С помощью резины можно осуществлять все операции: вырубку, гибку, вытяжку, формовку. Матрица 3 крепится к столу, а резиновая подушка, помещенная в стальную обойму 1, крепится к ходовой части прессы (толщина заготовки 2 – до 1,5 мм).

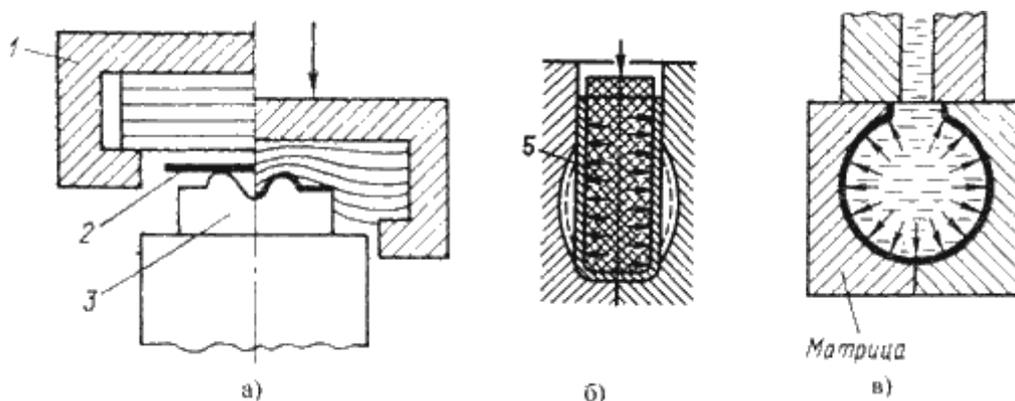


Рис. 14.24. Схемы листовой штамповки при помощи эластичной среды и жидкости

Резиновые пуансоны цилиндрической формы применяются при вытяжке изделий сложной формы, при необходимости увеличения диаметральных размеров средней части цилиндрических полуфабрикатов (рис.14.24.б).

При гидравлической вытяжке (рис.14.24.в) полые детали цилиндрической, конической, сферической или другой формы получают надавливанием на заготовку жидкостью или жидкостью, заключенной в эластичную оболочку.

ЛЕКЦИЯ №15

СВАРКА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Способы сварки металлов. Электродуговая сварка. Сварочное производство. Сварка плавлением

Сварка – технологический процесс получения неразъемных соединений в результате возникновения атомно-молекулярных связей между соединяемыми деталями при их нагреве и пластическом деформировании.

Сварные соединения можно получать двумя принципиально разными путями: сваркой плавлением и сваркой давлением.

При *сварке плавлением* атомно-молекулярные связи между деталями создают, оплавливая их примыкающие кромки, так, чтобы получилась смачивающая их, общая ванна. Эта ванна затвердевает при охлаждении и соединяет детали в одно целое. Как правило, в жидкую ванну вводят дополнительный металл, чтобы полностью заполнить зазор между деталями, но возможна сварка и без него.

При *сварке давлением* обязательным является совместная пластическая деформация деталей сжатием зоны соединения. Этим обеспечивается очистка свариваемых поверхностей от пленок загрязнений, изменение их рельефа и образование атомно-молекулярных связей. Пластической деформации обычно предшествует нагрев, так как с ростом температуры уменьшается значение деформации, необходимой для сварки и повышается пластичность металла.

Нагрев свариваемых деталей осуществляется разными способами: электрической дугой, газокислородным пламенем, пропусканием тока, лазером и т.д. По-разному обеспечиваются защита зоны сварки от воздействия воздуха и ее принудительная деформация.

Существует множество технологических процессов сварки (более 70).

Сварка является наиболее важным способом получения неразъемных соединений из различных материалов, свариваются металлы и сплавы, керамика, стекло, пластмассы, разнородные материалы. Сварка применяется во всех областях техники.

Сварка плавлением

Дуговая сварка

Источником теплоты является электрическая дуга, которая горит между электродом и заготовкой.

Сварочной дугой называется мощный электрический разряд между электродами, находящимися в среде ионизированных газов и паров.

В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие разновидности дуговой сварки (рис. 15.6):

- сварка неплавящимся (графитовым или вольфрамовым) электродом *1* дугой прямого действия *2* (рис. 15.6.а), при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла *3*, либо с применением присадочного металла *4*;
- сварка плавящимся электродом (металлическим) *1* дугой прямого действия с одновременным расплавлением основного металла и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом (рис. 15.6.б);

- сварка косвенной дугой 5, горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами, при этом основной металл нагревается и расплавляется теплотой столба дуги (рис. 15.6.в);
- сварка трехфазной дугой, при которой дуга горит между каждым электродом и основным металлом (рис. 15.6.г).

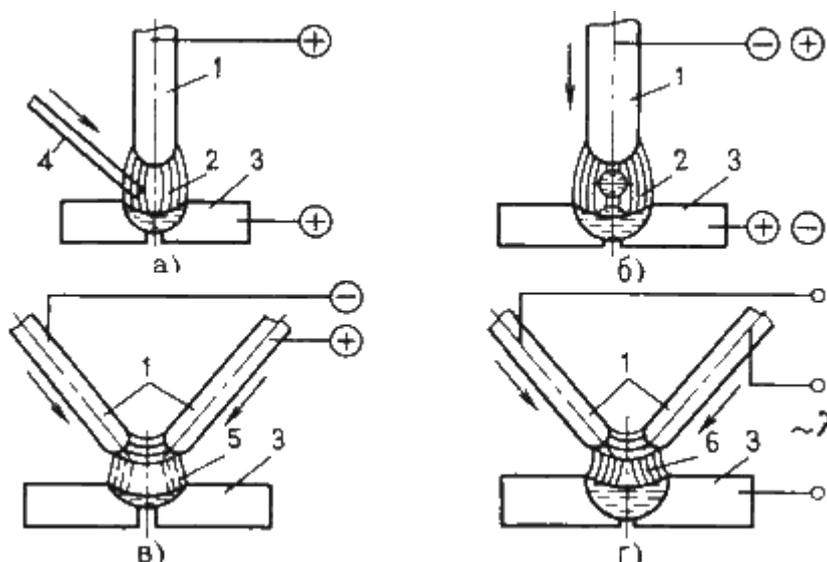


Рис. 15.6. Схемы дуговой сварки

Разновидности дуговой сварки различают по способу защиты дуги и расплавленного металла и степени механизации процесса.

Ручная дуговая сварка.

Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые подают вручную в дугу и перемещают вдоль заготовки. В процессе сварки металлическим покрытым электродом (рис.15.2) дуга 8 горит между стержнем 7 электрода и основным металлом 1.

Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в сварочную ванну 9. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 6, образуя защитную газовую атмосферу 5 вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну 4 на поверхности расплавленного металла. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварной шов 3. Жидкий шлак образует твердую шлаковую корку 2.

Ручная сварка позволяет выполнять швы в любых пространственных положениях: нижнем, вертикальном, горизонтальном, вертикальном, потолочном. Ручная сварка удобна при выполнении коротких криволинейных швов в любых пространственных положениях, при выполнении швов в труднодоступных местах, а также при монтажных работах и сборке конструкций сложной формы.

Оборудование для ручной сварки: источник питания дуги, электрододержатель, гибкие провода, защитная маска или щиток.

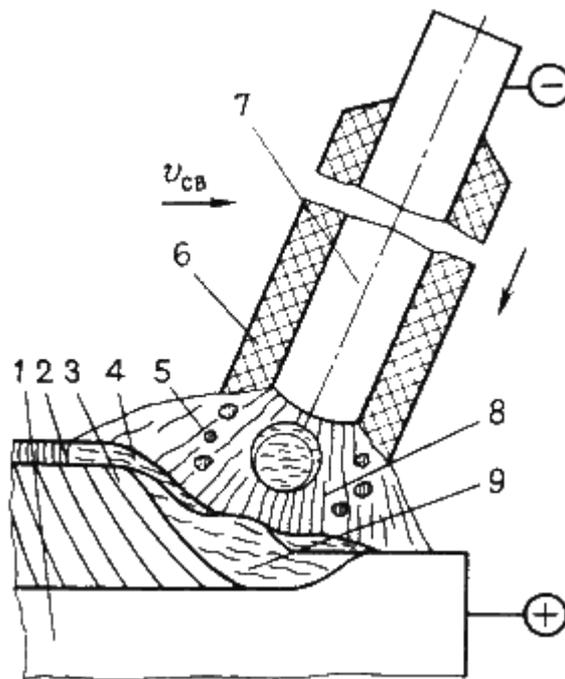


Рис. 15.2. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом

Автоматическая дуговая сварка под флюсом.

Для сварки используют непокрытую электродную проволоку и флюс для защиты дуги и сварочной ванны от воздуха.

Схема автоматической дуговой сварки под флюсом представлена на рис. 15.3.

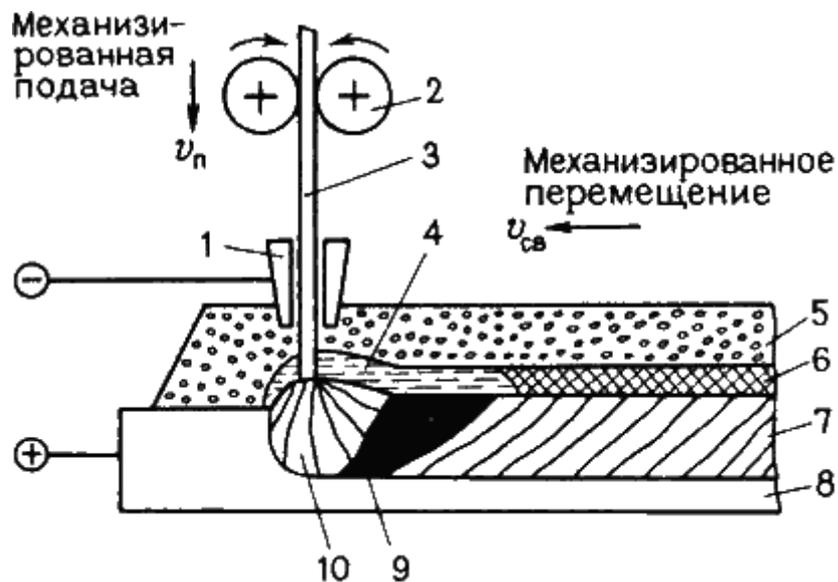


Рис.15.3. Схема автоматической дуговой сварки под флюсом

Подача и перемещение электродной проволоки механизированы. Автоматизированы процессы зажигания дуги и заварки кратера в конце шва. Дуга 10 горит между проволокой 3 и основным металлом 8. Столб дуги и металлическая ванна жидкого металла 9 со всех сторон плотно закрыты слоем флюса 5 толщиной 30...50 мм. Часть флюса плавится и образуется жидкий шлак 4, защищающий жидкий металл от воздуха. Качество защиты лучше, чем

при ручной дуговой сварке. По мере поступательного движения электрода металлическая и шлаковая ванны затвердевают с образованием сварного шва 7, покрытого твердой шлаковой коркой 6. Проволоку подают в дугу с помощью механизма подачи 2. Ток к электроду подводят через токопровод 1.

Для сварки под флюсом характерно глубокое проплавление основного металла.

Преимущества автоматической сварки под флюсом по сравнению с ручной: повышение производительности процесса сварки в 5...20 раз, повышение качества сварных соединений и уменьшение себестоимости 1 м сварного шва.

Флюсы. Применяемые флюсы различают по назначению.

Флюсы для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей предназначены для раскисления шва и легирования его марганцем и кремнием. Для этого применяют высококремнистые марганцевые флюсы, которые получают путем сплавления марганцевой руды, кремнезема и плавикового шпата в электропечах.

Флюсы для сварки легированных и высоколегированных сталей должны обеспечивать минимальное окисление легирующих элементов в шве. Для этого применяют керамические низкокремнистые, безкремнистые и фторидные флюсы, которые изготавливают из порошкообразных компонентов путем замеса их на жидком стекле, гранулирования и последующего прокаливания. Основу керамических флюсов составляют мрамор, плавиковый шпат и хлориды щелочно-земельных металлов.

Дуговая сварка в защитных газах.

При сварке в защитном газе электрод, зона дуги и сварочная ванна защищены струей защитного газа (инертного – аргон, гелий; активного – углекислый газ, азот, водород).

Сварка в инертных газах можно выполнять неплавящимся и плавящимся электродами.

В качестве неплавящегося электрода применяется прутки вольфрама, а в качестве плавящегося – проволока из основного металла или близкого ему по химическому составу. Область применения аргонодуговой сварки охватывает широкий круг материалов и изделий (узлы летательных аппаратов, элементы атомных установок, корпуса и трубопроводы химических аппаратов). Аргонодуговую сварку применяют для легированных и высоколегированных сталей, цветных (алюминия, магния, меди) и тугоплавких (титана, ниобия, ванадия, циркония) металлов и их сплавов.

Сварка в углекислом газе выполняется только плавящимся электродом. Защита сварочной ванны осуществляется углекислым газом. Углекислый газ химически активен по отношению к жидкому металлу. При нагреве он диссоциирует на оксид углерода и кислород, который окисляет железо и легирующие элементы. Окисляющее действие кислорода нейтрализуется введением в проволоку дополнительного количества раскислителей. Для сварки углеродистых и низколегированных сталей применяют сварочную проволоку с повышенным содержанием кремния и марганца. Хорошее качество сварного

шва получается при использовании специальной порошковой проволоки.

Обычно свариваются конструкции из углеродистых и низколегированных сталей (газо- и нефтепроводы, корпуса судов и т.п.). При сварке меди, алюминия, титана и редких металлов невозможно связать свободный кислород введением раскислителей.

Преимуществами данного способа являются низкая стоимость углекислого газа и высокая производительность.

Основной недостаток – разбрызгивание металла (на зачистку расходуется 30...40% времени сварки).

Плазменная сварка

Плазменная струя, применяемая для сварки, представляет собой направленный поток частиц или полностью ионизированного газа, имеющего температуру 10000...20000⁰С. Плазму получают в плазменных горелках, пропуская газ через столб сжатой дуги. В качестве плазмообразующих газов применяют азот, аргон, водород, гелий, воздух и их смеси.

Применяют два основных плазменных источника нагрева: *плазменную струю*, выделенную из столба косвенной дуги и *плазменную дугу*, в которых дуга прямого действия совмещена с плазменной струей.

Плазменная струя представляет собой независимый источник теплоты, позволяющий в широких пределах изменять степень нагрева и глубину проплавления поверхности заготовок. Тепловая мощность плазменной струи ограничена, и ее применяют для сварки и резки тонких металлических листов и неэлектропроводящих материалов, для напыления тугоплавких материалов.

Плазменная дуга обладает большой тепловой мощностью, имеет более широкое применение: для сварки высоколегированной стали, сплавов титана, никеля, молибдена, вольфрама. Плазменную дугу применяют для резки материалов (меди, алюминия), наплавки тугоплавких материалов на поверхность.

Плазменной дугой можно сваривать металл толщиной до 10 мм без разделки кромок и применения присадочного материала. Так как плазменная дуга обладает высокой стабильностью, то обеспечивается повышенное качество сварных швов. Это позволяет выполнять микроплазменную сварку металла толщиной 0,025...0,8 мм.

Недостаток плазменной сварки – недолговечность горелок.

Электрошлаковая сварка.

Сущность процесса заключается в том, что тепловую энергию, необходимую для расплавления основного и присадочного металла, дает теплота, выделяемая в объеме шлаковой ванны при прохождении через нее тока (рис. 15.4).

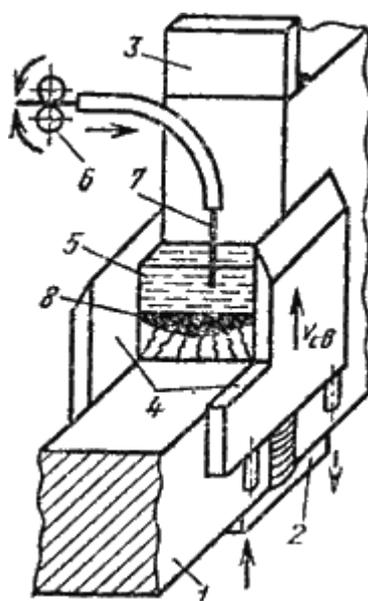


Рис.15.4. Схема электрошлаковой сварки

Свариваемые заготовки 1 устанавливают в вертикальном положении. В замкнутое пространство между водоохлаждаемыми медными ползунами 4 и вертикально установленными кромками изделий засыпают флюс и подают электродную проволоку 7 при помощи специального механизма подачи 6.

В начале процесса возбуждают дугу, флюс плавится и образуется электропроводный шлак 5. Шлак шунтирует дугу, она гаснет, выходная цепь источника питания замыкается через шлак. Ток, проходя через шлак, разогревает его, это приводит к раславлению кромок основного металла и электрода. Расплав стекает вниз и образует сварочную ванну 8, выжимая шлак вверх, и затвердевает.

В начальном и конечном участках шва образуются дефекты: в начале шва – непровар кромок, в конце шва – усадочная раковина и неметаллические включения. Поэтому сварку начинают и заканчивают на специальных планках 2 и 3, которые затем удаляют газовой резкой.

Преимущества: возможна сварка металла любой толщины (с 16 мм). Заготовки с толщиной до 150 мм можно сваривать одним электродом, совершающим поперечное колебание в плоскости стыка, при толщине более 150 мм используются нескольких проволок. Есть опыт сварки толщиной до 2 м.

Недостаток способа – образование крупного зерна в шве и околошовной зоне вследствие замедленного нагрева и охлаждения. Необходимо проведение термической обработки: нормализации или отжига для измельчения зерна.

Электрошлаковую сварку широко применяют в тяжелом машиностроении для изготовления ковано-сварных и лито-сварных конструкций; станины и детали мощных прессов и станков, коленчатые валы судовых дизелей, роторы и валы гидротурбин, котлы высокого давления и т.п.

Лучевые способы сварки.

Электронно-лучевая сварка.

Сущность процесса состоит в том, что свариваемые детали, собранные без зазора, помещают в вакуумную камеру и подают на них электронный луч – пучок электронов, движущихся с большой скоростью. При соударении с изделием электроны тормозятся, их кинетическая энергия переходит в тепловую энергию и расплавляет металл. Температура в месте соударения достигает 5000...6000 °С. Перемещая электронный луч вдоль стыка, получают сварной шов.

Схема установка для электронно-лучевой сварки представлена на рис. 15.5.

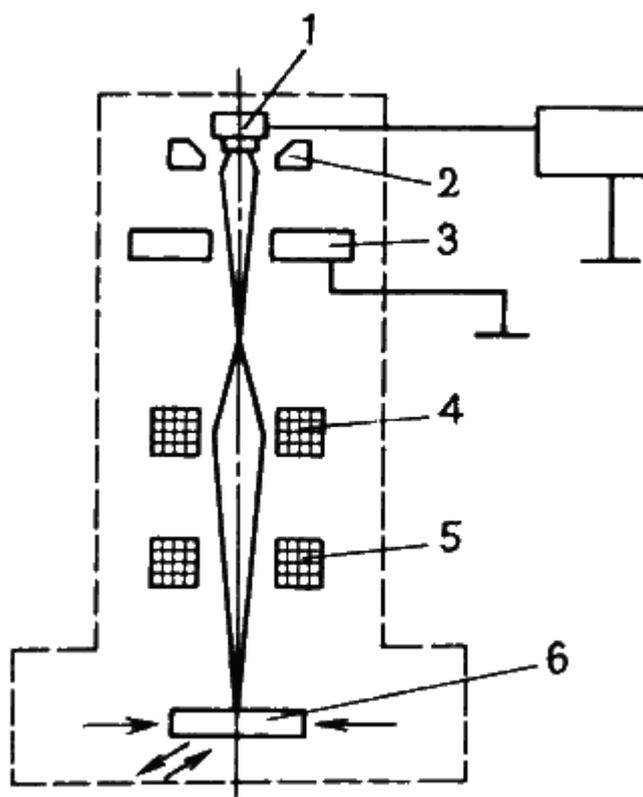


Рис.15.5. Схема установки для электронно-дуговой сварки

Электроны, испускаемые катодом 1 электронной пушки, формируются в пучок электродом 2, расположенным непосредственно за катодом, ускоряются под действием разности потенциалов между катодом и анодом 3, составляющей 20...150 кВ и выше, затем фокусируются в виде луча и направляются специальной отклоняющей магнитной системой 5 на обрабатываемое изделие 6. На формирующий электрод 2 подается отрицательный или нулевой по отношению к катоду потенциал. Фокусировкой достигается высокая удельная мощность луча. Ток электронного луча невелик – от нескольких миллиампер до единиц ампер.

Процессу электронно-лучевой сварки присущи две характерные особенности:

- сварка протекает в вакууме, обеспечивается получение зеркально чистой поверхности и дегазация расплавленного металла;

- интенсивность нагрева очень велика, что обеспечивает быстрое плавление и затвердевание металла. Шов получается мелкозернистый с высокими механическими свойствами, с минимальной шириной, что позволяет сваривать сплавы, чувствительные к нагреву.

Электронно-лучевой сваркой изготавливают детали из тугоплавких, химически активных металлов и их сплавов (вольфрамовых, танталовых, молибденовых, ниобиевых, циркониевых), а также алюминиевых и титановых сплавов и высоколегированных сталей. Металлы и сплавы можно сваривать в однородных и разнородных сочетаниях, со значительной разностью толщин, температур плавления. Минимальная толщина свариваемых заготовок составляет 0,02 мм, максимальная – до 100 мм.

Лазерная сварка.

Лазерная сварка – способ сварки плавлением, при которых металл нагревают излучением лазера.

Лазерный луч представляет собой вынужденное монохроматическое излучение, длина волны которого зависит от природы рабочего тела лазера-излучателя. Оно возникает в результате вынужденных скачкообразных переходов возбужденных атомов рабочих тел на более низкие энергетические уровни.

Основными параметрами режимов лазерной обработки являются мощность излучения, диаметр пятна фокусировки, скорость перемещения обрабатываемого материала относительно луча.

Преимуществом лазерной сварки является быстрый точечный нагрев металла до плавления. Интенсивный сосредоточенный нагрев обуславливает и чрезвычайно большую скорость охлаждения после прекращения воздействия луча. Это позволяет свести к минимуму ширину околошовной зоны, сварочные напряжения и деформации.

Механизм процессов при лазерной сварке схож с электронно-лучевой сваркой, но не обязательно вакуумировать изделие.

Лазером сваривают преимущественно толщины до 1 мм, так как коэффициент полезного действия преобразования энергии в лазерное излучение довольно низкий.

Сварка давлением

Сущность получения неразъемного сварного соединения двух заготовок в твердом состоянии состоит в сближении идеально чистых соединяемых поверхностей на расстояния $(2...4) \cdot 10^{-10}$ см, при которых возникают межатомные силы притяжения.

Необходимым условием получения качественного соединения в твердом состоянии являются хорошая очистка и подготовка поверхностей и наличие сдвиговых пластичных деформаций в зоне соединения в момент сварки.

Контактная сварка

Сварные соединения получаются в результате нагрева деталей проходящим через них током и последующей пластической деформации зоны соединения.

Сварка осуществляется на машинах, состоящих из источника тока, прерывателя тока и механизмов зажатия заготовок и давления.

К деталям с помощью электродов подводят ток небольшого напряжения (3...8 В) и большой силы (до нескольких десятков кА). Большая часть тепла выделяется в зоне контакта деталей.

По виду получаемого соединения контактную сварку подразделяют на точечную, шовную, стыковую. Схемы контактной сварки представлены на рис. 15.6.

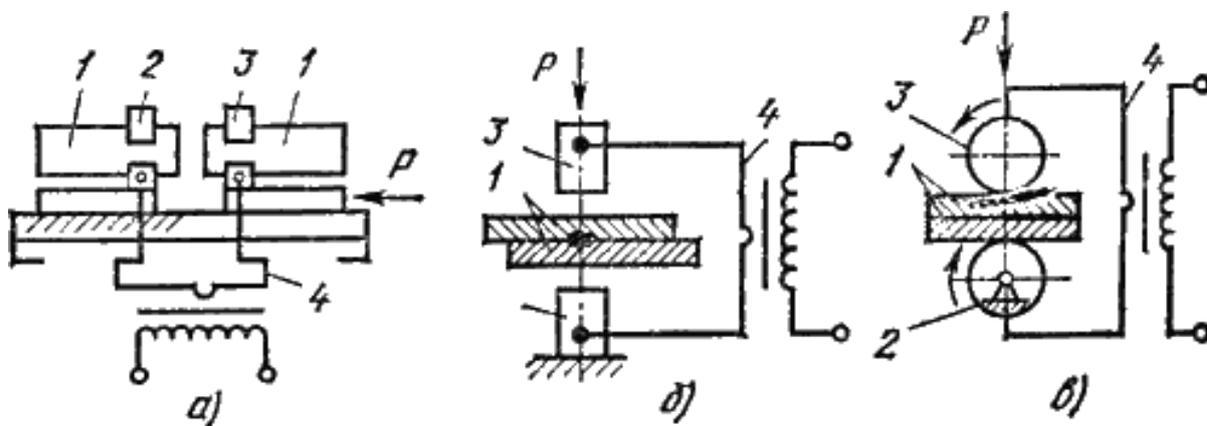


Рис. 15.6. Схемы контактной сварки:
а – стыковой; б – точечной; в – шовной

Стыковая контактная сварка (рис.15.6.а) – способ соединения деталей по всей плоскости их касания.

Свариваемые заготовки 1 плотно зажимают в неподвижном 2 и подвижном 3 токоподводах, подключенных к вторичной обмотке сварочного трансформатора 4. Для обеспечения плотного электрического контакта свариваемые поверхности приводят в соприкосновение и сжимают. Затем включается ток. Поверхность контакта заготовок разогревается до требуемой температуры, ток отключается, производится сдавливание заготовок – осадка.

Стыковую сварку с разогревом стыка до пластического состояния и последующей осадкой называют *сваркой сопротивлением*, а при разогреве торцов до оплавления с последующей осадкой – *сваркой оплавлением*. В результате пластической деформации и быстрой рекристаллизации в зоне образуются рекристаллизованные зерна из материала обеих деталей.

Сварка применяется для соединения встык деталей типа стержней, толстостенных труб, рельсов и т.п.

Точечная сварка (рис.15.6.б) – способ изготовления листовых или стержневых конструкций, позволяющий получить прочные соединения в отдельных точках.

Свариваемые заготовки 1, собранные внахлест, зажимают между неподвижным 2 и подвижным 3 электродами, подсоединенными к обмотке трансформатора 4.

Электроды изнутри охлаждаются водой, нагрев локализуется на участках соприкосновения деталей между электродами. Получают линзу расплава требуемого размера, ток выключают, расплав затвердевает, образуется сварная точка. Электроды сжимают детали, пластически деформируя их.

Образующееся сварное соединение обладает большой прочностью и его можно применять для изготовления несущих конструкций. Этот способ широко применяют в авто- и вагоностроении, строительстве, а также при сборке электрических схем.

Шовная сварка(рис.15.6.в) – способ соединения деталей швом, состоящим из отдельных сварных точек.

Свариваемые заготовки 1 помещают между двумя роликами-электродами, один из электродов 2 может иметь вращательное движение, а другой 3 – вращательное движение и перемещение в вертикальном направлении. Электроды подключаются к вторичной обмотке трансформатора 4. Электроды-ролики зажимают и передвигают деталь.

Шовная сварка обеспечивает получение прочных и герметичных соединений их листового материала толщиной до 5 мм.

Диффузионная сварка

Диффузионная сварка – способ сварки давлением в вакууме приложением сдавливающих сил при повышенной температуре.

Свариваемые детали тщательно зачищают, сжимают, нагревают в вакууме специальным источником тепла до температуры рекристаллизации ($0,4 T_{пл}$), и длительно выдерживают. В начальной стадии процесса создаются условия для образования металлических связей между соединяемыми поверхностями. Низкое давление способствует удалению поверхностных пленок, а высокая температура и давление приводят к уменьшению неровностей поверхностей и сближению их до нужного расстояния. Затем протекают процессы диффузии в металле, образуются промежуточные слои, увеличивающие прочность соединения. Соединения получают при небольшой пластической деформации. Изменение размеров мало.

Сварка может осуществляться в среде инертных и защитных газов: гелий, аргон, водород.

Способ применяется для соединения металлов, металлов и полупроводников, а также других неметаллических материалов.

Диффузионная сварка широко применяется в космической технике, в электротехнической, радиотехнической и других отраслях промышленности.

Сварка трением

Сварка трением – способ сварки давлением при воздействии теплоты, возникающей при трении свариваемых поверхностей.

Свариваемые заготовки устанавливают соосно в зажимах машины, один из которых неподвижен, а другой может совершать вращательное и поступательное движения. Заготовки сжимаются осевым усилием, и включается механизм вращения. При достижении температуры 980...1300 °С вращение заготовок прекращают при продолжении сжатия.

Иногда сварку трением производят через промежуточный вращаемый элемент или заменяют вращательное движение вибрацией.

Сваркой трением можно сваривать заготовки диаметром 0,75...140 мм.

Преимущества способа: простота, высокая производительность, малая энергоемкость, стабильность качества соединения, возможность сварки заготовок из разнородных материалов.

Осуществляется сварка на специальных машинах.

Сварка взрывом

Большинство технологических схем сварки взрывом основано на использовании направленного взрыва.

Соединяемые поверхности заготовок, одна из которых неподвижна и служит основанием, располагают под углом друг к другу на определенном расстоянии. На вторую заготовку укладывают взрывчатое вещество и устанавливают детонатор. Сварку осуществляют на жесткой опоре. При соударении двух деталей под действием ударной волны, движущихся с большой скоростью, между ними образуется кумулятивная струя, которая разрушает и уносит оксидные поверхностные пленки и другие загрязнения. Поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил, и происходит схватывание по всей площади соединения. Продолжительность сварки несколько микросекунд.

Прочность соединений, выполненных сваркой взрывом, выше прочности соединяемых материалов.

Сварку взрывом используют при изготовлении заготовок для проката биметалла, плакировке поверхностей конструкционных сталей металлами и сплавами со специальными свойствами, при сварке заготовок из разнородных материалов. Целесообразно сочетание сварки взрывом со штамповкой и ковкой.

Тип сварного соединения

Основными преимуществами сварных соединений являются: экономия металла; снижение трудоемкости изготовления корпусных деталей; возможность изготовления конструкций сложной формы из отдельных деталей, полученных ковкой, прокаткой, штамповкой.

Сварным конструкциям присущи и некоторые недостатки: появление остаточных напряжений; коробление в процессе сварки; плохое восприятие

знакопеременных напряжений, особенно вибраций; сложность и трудоемкость контроля.

Тип сварного соединения определяют взаимным расположением свариваемых элементов и формой подготовки (разделки) их кромок под сварку.

В зависимости расположения соединяемых деталей различают четыре основных типа сварных соединений: стыковые, нахлесточные, тавровые и угловые (рис. 15.7).

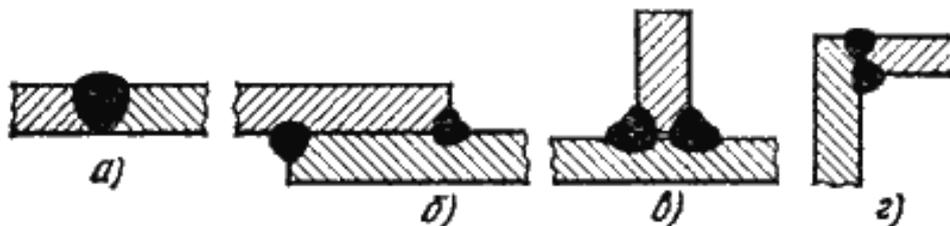


Рис.15.7. Основные типы сварных соединений
а – стыковое; б – нахлесточное; в – тавровое; г – угловое

Кромки разделяют в целях полного провара заготовок по сечению, что является одним из условий равнопрочности сварного соединения с основным металлом.

Формы подготовки кромок под сварку показаны на рис. 15.8. различают V, К, Х – образные

По характеру выполнения сварные швы могут быть односторонние и двухсторонние.

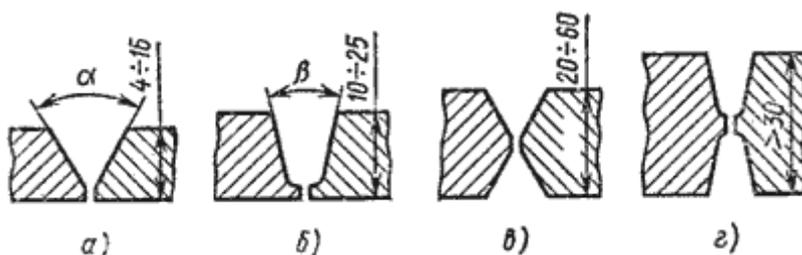


Рис. 15.8. Формы подготовки кромок под сварку:
а – V-образная; б – U-образная; в – X-образная; г – двусторонняя X-образная

Специальные термические процессы в сварочном производстве

Наплавка – процесс нанесения слоя металла или сплава на поверхность изделия.

Наплавка позволяет получать детали с поверхностью, отличающейся от основного металла, например жаростойкостью и жаропрочностью, высокой износостойкостью при нормальных и повышенных температурах, коррозионной стойкостью и т.п. Наплавка может производиться как при изготовлении новых деталей, так и в ремонтно-восстановительных работах, существенно удлиняя срок эксплуатации деталей и узлов, обеспечивая этим

высокий экономический эффект.

Существуют разнообразные способы наплавки.

1. Ручная дуговая электродами со стержнями и покрытиями специальных составов.
2. Автоматическая наплавка под флюсом. Электроды могут быть сплошного сечения и порошковые. Состав флюса, металл электрода и состав наполнителя определяют свойства наплавленного слоя.
3. Наплавка плавящимися и неплавящимися электродами в среде защитных газов. Свойства наплавленного слоя зависят от материала присадки или электрода.
4. Плазменная наплавка. Дуга может быть как прямого, так и косвенного действия. Можно плазменной струей оплавливать слой легированного порошка, предварительно нанесенный на поверхность детали.
5. Электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерная наплавка, а также наплавка газокислородным пламенем.

Существенным показателем эффективности того или иного способа наплавки является степень перемешивания при наплавке основного металла и присадочного: чем она меньше, тем ближе будут свойства наплавленного слоя к заданным.

Напыление

При напылении расплавленные по всему объему или по поверхности частицы материала будущего покрытия направляются на поверхность нагретой заготовки. При соударении с поверхностью частица деформируется, обеспечивая хороший физический контакт с деталью. Характер взаимодействия частицы с материалом подложки, последующая кристаллизация частиц определяет качество адгезии покрытия с подложкой. Последующие слои формируются уже за счет связей частиц друг с другом, имеют чешуйчатое строение и существенно неоднородны.

По мере повышения стоимости объемного легирования и стремления получить требуемые эксплуатационные свойства более экономичным способом (легированием поверхности) напыление становится все более предпочтительным.

Для напыления используют источники тепла: газовое пламя, плазму, ионный нагрев, нагрев в печах, лазер и др.

Наибольшее распространение получили процессы газопламенного и плазменного напыления. Материал для напыления подается в пламя горелки или плазменную дугу в виде проволоки или порошка, где происходит нагрев и распыление частиц, которые тепловым потоком источника нагрева разгоняются и попадают на поверхность напыляемой детали. Иной способ формирования покрытий при нагреве в печах. В этом случае нагретая деталь контактирует с материалом покрытия, находящимся в виде порошка или газовой фазы.

Получаемое таким методом покрытие имеет высокую адгезию к поверхности детали за счет активных диффузионных процессов, происходящих в период длительной выдержки в печи при высокой температуре.

Все большее распространение получают ионно-плазменные методы напыления износостойких и декоративных покрытий.

Пайка

Пайка – процесс получения неразъемного соединения заготовок без их расплавления путем смачивания поверхностей жидким припоем с последующей его кристаллизацией. Расплавленный припой затекает в специально создаваемые зазоры между деталями и диффундирует в металл этих деталей. Протекает процесс взаимного растворения металла деталей и припоя, в результате чего образуется сплав, более прочный, чем припой.

Образование соединения без расплавления основного металла обеспечивает возможность распая соединения.

Качество паяных соединений (прочность, герметичность, надежность и др.) зависят от правильного выбора основного металла, припоя, флюса, способа нагрева, типа соединения.

Припой должен хорошо растворять основной металл, обладать смачивающей способностью, быть дешевым и недефицитным. Припои представляют собой сплавы цветных металлов сложного состава. По температуре плавления припои подразделяют на особо легкоплавкие (температура плавления ниже 145°C), легкоплавкие ($145\dots450^{\circ}\text{C}$), среднеплавкие ($450\dots1100^{\circ}\text{C}$) и тугоплавкие (выше 1050°C). К особо легкоплавким и легкоплавким припоям относятся оловянно-свинцовые, на основе висмута, индия, олова, цинка, свинца. К среднеплавким и тугоплавким относятся припои медные, медно-цинковые, медно-никелевые, с благородными металлами (серебром, золотом, платиной). Припои изготавливают в виде прутков, листов, проволок, полос, спиралей, дисков, колец, зерен, которые укладывают в место соединения.

При пайке применяются *флюсы* для защиты места спая от окисления при нагреве сборочной единицы, обеспечения лучшей смачиваемости места спая расплавленным металлом и растворения металлических окислов. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя. Флюсы могут быть твердые, пастообразные и жидкие. Для пайки наиболее применимы флюсы: бура, плавиновый шпат, борная кислота, канифоль, хлористый цинк, фтористый калий.

Пайку точных соединений производят без флюсов в защитной атмосфере или в вакууме.

В зависимости от способа нагрева различают пайку газовую, погружением (в металлическую или соляную ванну), электрическую (дуговая, индукционная, контактная), ультразвуковую.

В единичном и мелкосерийном производстве применяют пайку с местным

нагревом посредством паяльника или газовой горелки.

В крупносерийном и массовом производстве применяют нагрев в ваннах и газовых печах, электронагрев, импульсные паяльники, индукционный нагрев, нагрев токами высокой частоты.

Перспективным направлением развития технологии пайки металлических и неметаллических материалов является использование ультразвука. Генератор ультразвуковой частоты и паяльник с ультразвуковым магнитострикционным вибратором применяются для безфлюсовой пайки на воздухе и пайке алюминия. Оксидная пленка разрушается за счет колебаний ультразвуковой частоты.

Процесс пайки включает: подготовку сопрягаемых поверхностей деталей под пайку, сборку, нанесение флюса и припоя, нагрев места спая, промывку и зачистку шва.

Детали для пайки тщательно подготавливаются: их зачищают, промывают, обезжиривают.

Зазор между сопрягаемыми поверхностями обеспечивает диффузионный обмен припоя с металлом детали и прочность соединения. Зазор должен быть одинаков по всему сечению.

Припой должен быть зафиксирован относительно места спая. Припой закладывают в месте спая в виде фольговых прокладок, проволочных контуров, лент, дроби, паст вместе с флюсом или наносят в расплавленном виде. При автоматизированной пайке – в виде пасты с помощью шприц-установок.

При возможности предусматриваются средства механизации – полуавтоматы и автоматы для газовой, электрической пайки.

Паяные соединения контролируют по параметрам режимов пайки, внешним осмотром, проверкой на прочность или герметичность, методами дефекто- и рентгеноскопии.

ЛЕКЦИЯ №16

Режимы сварки.

Выбор режимов сварки.

Под режимом сварки понимают совокупность факторов, определяющих протекание процесса сварки. Эти факторы называются элементами режима. Основными элементами режима дуговой сварки являются: ток, род и полярность тока, диаметр электрода, напряжение дуги и скорость сварки. При ручной сварке к ним добавляется величина поперечного перемещения конца электрода. Остальные факторы — вылет (длина) электрода, свойства покрытия, начальная температура металла, наклон электрода и основного металла, — являются дополнительными элементами режима сварки.

Влияние элементов режима сварки на размеры и форму шва.

Размеры шва и форма провара не зависят от типа шва (валиковый шов, угловой, стыковой, сварка без разделки и зазора, сварка с разделкой и зазором), а определяются в основном режимом сварки. Основным показателем формы

шва является коэффициент формы провара, представляющий отношение ширины шва к глубине провара. При дуговой сварке и наплавке он может изменяться в широких пределах — от 0,8 до 20. Уменьшение ширины шва и увеличение глубины провара уменьшает коэффициент формы провара, а противоположное изменение этих величин — увеличивает его.

Величина тока. Увеличение тока увеличивает, а уменьшение — уменьшает глубину провара. При глубине провара более 0,7—0,8 толщины металла резко изменяются условия отвода тепла от нижней части сварочной ванны и может произойти сквозное проплавление металла. Чем больше плотность металла (чем тяжелее металл), тем больше провар при данном токе. На ширину шва величина тока почти не оказывает влияния.

Род и полярность тока. При сварке постоянным током прямой полярности глубина провара меньше на 40—50%, а при сварке переменным током — меньше на 15—20%, чем при сварке постоянным током обратной полярности. Ширина шва при сварке постоянным током прямой полярности меньше, чем при сварке постоянным током обратной полярности и переменным током. Изменение ширины шва становится заметным при более высоких напряжениях дуги (свыше 30 в).

Выбор электродной проволоки

Диаметр электрода. Уменьшение диаметра при том же токе повышает плотность тока в электроде и уменьшает подвижность дуги, что увеличивает глубину провара и сокращает ширину шва. Соответственно, при уменьшении диаметра электрода глубина провара возрастает; ширина же шва с увеличением диаметра электрода увеличивается за счет повышения подвижности дуги. Заданная глубина провара может быть достигнута и при меньшем токе за счет уменьшения диаметра электрода, однако это вызывает затруднения вследствие повышенного разогрева электрода малого диаметра.

Напряжение дуги почти не оказывает влияния на глубину провара, но влияет на ширину шва. При возрастании напряжения ширина шва увеличивается, при снижении напряжения — уменьшается, что широко используется при механизированных способах сварки для регулирования ширины шва особенно при наплавке.

При ручной сварке напряжение изменяется незначительно (от 18 до 22 в), что не оказывает практического влияния на ширину шва.

Скорость сварки. При малых скоростях ручной сварки, составляющих 1 — 1,5 м/ч, глубина провара получается минимальной, так как в этом случае интенсивность вытеснения жидкого металла сварочной ванны из-под основания столба дуги невелика. Образующийся у основания дуги слой жидкого металла препятствует проплавлению основного металла. Повышение скорости сварки до некоторого значения, соответствующего максимальной погонной энергии дуги, увеличивает глубину провара. Для практических пределов применяемых при сварке режимов скорость сварки незначительно влияет на глубину провара.

Ширина шва зависит от скорости сварки: увеличение скорости уменьшает, а уменьшение скорости — увеличивает ширину шва. Это соотношение сохраняется при всех скоростях сварки и широко используется в практике для регулирования ширины шва.

Поперечное перемещение электрода сильно влияет на глубину провара и ширину шва, поэтому его широко используют при ручной сварке для регулирования формы шва. Увеличение ширины поперечных перемещений конца электрода увеличивает ширину шва и уменьшает глубину провара, и наоборот. Это связано с соответствующим изменением концентрации тепла дуги на металле.

Длина (вылет) электрода. При увеличении длины электрода (или его вылета) он больше нагревается и скорость плавления его возрастает, что приводит к уменьшению тока и глубины провара. Если диаметр проволоки более 3 мм, изменение вылета ± 6 —8 мм не оказывает влияния на формирование шва. Если используется проволока диаметром 1—2,5 мм, указанные колебания вылета могут ухудшать формирование шва.

Физические свойства покрытия или флюса. При использовании легкого флюса и электрода с легкоплавким покрытием подвижность дуги увеличивается, возрастает ширина шва и сокращается глубина провара. При повышении толщины слоя или тугоплавкости покрытия на конце электрода образуется чехольчик, ограничивающий подвижность дуги, что приводит к уменьшению ширины шва и увеличению глубины провара.

Начальная температура металла в пределах от -60 до $+80^\circ\text{C}$ не влияет на форму шва. Подогрев основного металла до 100 — 400°C приводит к увеличению ширины шва и глубины провара, причем быстрее растет ширина шва, чем провар. Предварительным подогревом свариваемого металла объясняется увеличение ширины верхних слоев при многослойной сварке и наплавке.

Наклон электрода. Сварку ведут вертикальным электродом, с наклоном углом вперед и углом назад (относительно направления сварки). При сварке углом назад дуга сильнее вытесняет металл из ванны и глубина провара возрастает, а ширина шва уменьшается. При сварке углом вперед давление столба на поверхность металла снижается, что уменьшает глубину провара

и увеличивает ширину шва по сравнению со сваркой вертикальным электродом.

Наклон изделия. При сварке сверху вниз (на спуск) растет толщина слоя жидкого металла под основанием столба дуги и глубина провара от этого уменьшается; увеличивается блуждание дуги и ширина шва возрастает. При сварке снизу вверх (на подъем) толщина слоя жидкого металла под дугой уменьшается, глубина провара возрастает, а ширина шва уменьшается, так как дуга блуждает меньше. Для нормального формирования шва при ручной сварке угол наклона должен быть 8 — 10° . При большем угле и сварке на спуск происходит подтекание жидкого металла из-под основания дуги, а при сварке на подъем — появляются непровары и подрезы по кромкам шва. Сварка на

спуск применяется при выполнении круговых швов (труб, сосудов). Это снижает опасность прожогов, улучшает формирование шва и предупреждает стекание жидкого металла ванны.

Выбор режима сварки. Режим сварки (тип и марку электрода, диаметр его стержня, род, полярность, напряжение, величину тока) выбирают в зависимости от вида, толщины свариваемого металла и конструкции сварного соединения. Определив условия сварки, обеспечивающие получение высококачественного сварного соединения, выбирают диаметр электрода (проволоки) и величину сварочного тока.

Диаметр проволоки электрода выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла. Для стыковых швов можно принимать:

Толщину свариваемого металла, мм	0,5-1,5	1,5-3	3-5	6-8	9-12	13-20
Диаметр проволоки электрода, мм	1,5-2,0	2-3	3-4	4-5	4-6	5 6

При большом диаметре электрода повышается производительность сварки, но возможно проплавление свариваемого металла, затрудняется выполнение швов в вертикальном и потолочном положениях, возможен непровар корня шва. Поэтому первый слой многослойного шва всегда сваривается электродом диаметром 4—5 мм, за исключением швов с U-образной подготовкой, где весь шов можно сваривать электродами одного (максимально допустимого) диаметра.

Вертикальные и потолочные швы свариваются электродами диаметром не более 5 мм; сварщики высокой квалификации могут такие швы сваривать электродами диаметром 6 мм. Прихваточные швы и наплавка валиками небольшого сечения выполняются электродами диаметром не более 5 мм.

Сварочный ток выбирается в зависимости от диаметра электрода и марки электродного покрытия. В табл. 5 были приведены рекомендуемые величины тока для электродов различных марок.

Если ток мал, то в сварочную ванну будет поступать недостаточно тепла и возможно несплавление основного и наплавленного металла (непровар), резко понижающее прочность сварного соединения. При слишком большой величине тока весь электрод, спустя некоторое время после начала сварки, сильно разогревается, его металл начинает быстрее плавиться и стекать в шов. Это создает излишек наплавленного металла в шве и также связано с опасностью образования непровара в случае попадания жидкого электродного металла на нерасплавленный основной металл.

При выборе величины тока для сварки встык низкоуглеродистой стали в нижнем положении можно пользоваться формулой акад. К. К. Хренова

$$I_{св} = (20 + 6d) d$$

где $I_{св}$ — сварочный ток, а;

d — диаметр металлического стержня электрода, мм.

При толщине металла менее $1,5 d$ ток уменьшают на 10—15%, а при толщине более $3 d$ — увеличивают на 10—15% по сравнению с полученным по формуле. При сварке на вертикальной плоскости ток уменьшают на 10—15%, а при сварке потолочных швов — уменьшают на 15—20% по сравнению с током, выбранным для сварки в нижнем положении металла той же толщины.

Для сварки соединений внахлестку и тавровых можно применять больший ток, так как в этом случае опасность сквозного проплавления меньше.

Факторы, которые влияют на качество сварки

Так как сварка используется уже много лет и почти не одна отрасль не может обойтись без нее, то очень важно, чтобы сварные соединения были очень качественными. При этом существует много факторов влияющих на качество сварных соединений и много методов контроля качества соединений.

Все виды контроля качества сварки можно разделить на две основные группы:

- неразрушающие виды контроля;
- разрушающие виды контроля.

Неразрушающие виды контроля предназначены для выявления как наружных, так и внутренних дефектов. Обычно наружные дефекты выявляются внешним осмотром с использованием мерительного инструмента, а внутренние определяются физическими методами исследования - просвечиванием рентгеновскими и гамма-излучением, ультразвуком, магнитным и самым простым и дешевым методом - керосиновая проба. Неразрушающий контроль заключается в том, что сварной образец или изделие подвергается действию соответствующих импульсов.

Разрушающие виды контроля предназначены для определения характера, места расположения и размеров дефектов и их влияния на работоспособность сварных соединений. Разрушающий контроль осуществляется сверлением, технологической пробой, механическими испытаниями на растяжение, изгиб, срез, удар, твердость, иногда гидравлическим или пневматическим испытанием сварных изделий с разрушением их. Надежным и широко применяемым в настоящее время является радиационный контроль просвечиванием сварных соединений рентгеновским и гамма-излучением. Дефекты выявляются в виде черных пятен на светлом фоне хорошего шва.

Причинами возникновения дефектов в сварных швах могут быть: наличие вредных примесей выше нормы в основном металле и в компонентах покрытия или флюса, нарушение режима сварки (малый или слишком большой ток), нарушение технологии, т. е. порядка сварки швов, увеличение длины дуги,

состав и толщина слоя шлакового покрытия, большая плотность расплавленного шлака, сварка электродами с покрытиями, содержащими влагу, плохая защита сварочной ванны, сварка по окисленной поверхности и др. Может быть одновременно несколько причин возникновения дефектов.

Факторы, влияющие на качество сварных соединений	
Технологические	Конструктивно-эксплуатационные
Сварочные материалы	Основной металл
Оборудование	Конструкция соединения
Подготовка и сборка	Условия эксплуатации
Процесс сварки	Методы и система
Оператор	Нормы по качеству

ЛЕКЦИЯ № 17

ГАЗОВАЯ СВАРКА.

Газопламенная обработка металлов. Зоны ацетилено-кислородного пламени. Способы газовой сварки.

Газовая сварка сравнительно проста, не требует сложного, дорогого оборудования и источника электроэнергии.

Недостатком газовой сварки является меньшая по сравнению с дуговой скоростью нагрева металла и большая зона теплового воздействия на металл. При газовой сварке концентрация тепла меньше, а коробление свариваемых деталей больше.

Вследствие сравнительно медленного нагрева металла пламенем и невысокой концентрации тепла производительность газовой сварки снижается с увеличением толщины свариваемого металла. Например, при толщине стали 1 мм скорость газовой сварки составляет около 10 м/ч, при толщине 10 мм - только 2 м/ч. Поэтому газовая сварка стали толщиной свыше 6 мм менее производительна, чем дуговая сварка.

Стоимость ацетилена и кислорода выше стоимости электроэнергии, поэтому газовая сварка обходится дороже электрической. К недостаткам газовой сварки относится также взрывоопасность и пожароопасность при нарушении правил обращения с карбидом кальция, горючими газами и жидкостями, кислородом, баллонами со сжатыми газами и ацетиленовыми генераторами. Газовую сварку применяют при следующих работах: изготовлении и ремонте изделий из стали толщиной 1-3 мм; сварке сосудов и резервуаров небольшой емкости, заварке трещин, вварке заплат и пр.; ремонте литых изделий из чугуна, бронзы, силумина; сварке стыков труб малых и средних диаметров; изготовлении изделий из алюминия и его сплавов, меди, латуни и свинца; изготовлении узлов конструкций из тонкостенных труб; наплавке латуни на детали из стали и чугуна; соединении ковкого и высокопрочного чугуна с применением присадочных прутков из латуни и

бронзы, низкотемпературной сварке чугуна.

Газовой сваркой можно соединять почти все металлы, применяемые в технике. Чугун, медь, латунь, свинец легче поддаются газовой сварке, чем дуговой.

ТЕХНИКА ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Газовой сваркой можно выполнять нижние, горизонтальные, вертикальные и потолочные швы. Наиболее трудно выполнять потолочные швы, так как в этом случае сварщик должен поддерживать и распределять по шву жидкий металл, используя давление газов пламени. Наиболее часто газовой сваркой выполняют стыковые соединения, реже угловые и торцовые соединения. Газовой сваркой не рекомендуется выполнять соединения внахлестку и тавровые, так как они требуют интенсивного нагрева металла и сопровождаются повышенным короблением изделия.

Отбортованные соединения тонкого металла сваривают без присадочной проволоки. Применяют прерывистые и непрерывные швы, а также швы однослойные и многослойные. Перед сваркой кромки тщательно очищают от следов масла, краски, ржавчины, окалины, влаги и прочих загрязнений.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ГОРЕЛКИ ПРИ СВАРКЕ

Пламя горелки направляют на свариваемый металл так, чтобы кромки металла находились в восстановительной зоне, на расстоянии 2—6 мм от конца ядра. Касаться расплавленного металла концом ядра нельзя, так как это вызовет науглероживание металла ванны. Конец присадочной проволоки также должен находиться в восстановительной зоне или быть погруженным в ванну расплавленного металла. В том месте, куда направлен конец ядра пламени, жидкий металл давлением газов слегка раздувается в стороны, образуя углубление в сварочной ванне.

Скорость нагрева металла при газовой сварке можно регулировать, изменяя угол наклона мундштука к поверхности металла. Чем больше этот угол, тем больше тепла передается от пламени металлу и тем быстрее он будет нагреваться. При сварке толстого или хорошо проводящего тепло металла (например, красной меди) угол наклона мундштука берут больше, чем при сварке тонкого или с низкой теплопроводностью. На рис. 17.1, а показаны углы наклона мундштука, рекомендуемые при левой сварке стали различной толщины.

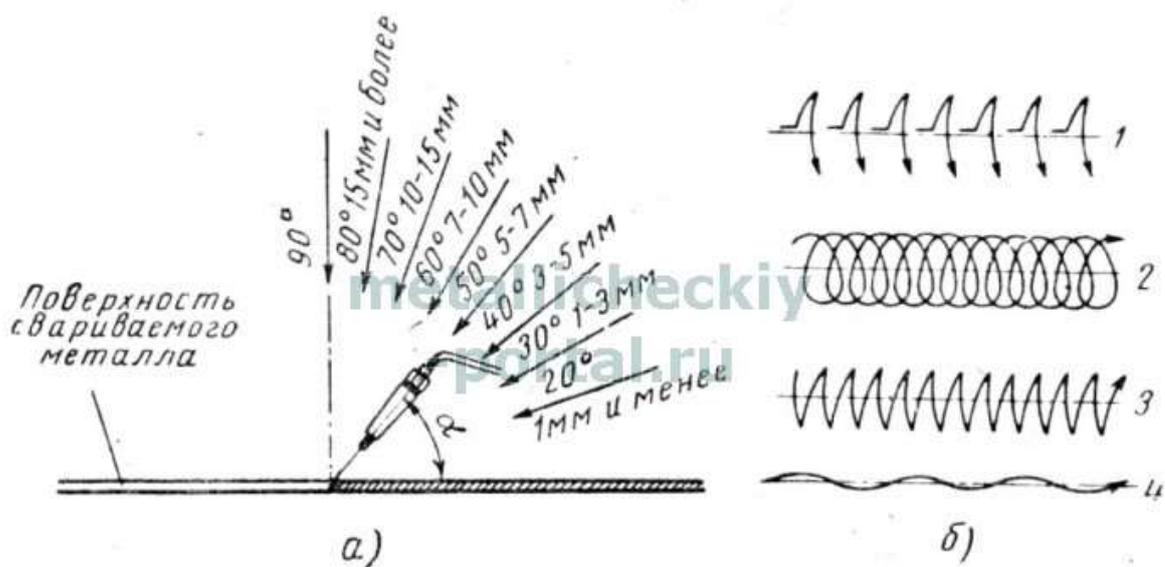


Рис. 17.1. Углы наклона (а) и способы перемещения (б) мундштука при газовой сварке

На рис. 17.1, б показаны способы перемещения мундштука по шву. Основным является перемещение мундштука вдоль шва. Поперечные и круговые движения являются вспомогательными и служат для регулирования скорости прогрева и расплавления кромок, а также способствуют образованию нужной формы сварного шва.

Способ 4 (см. рис. 17.1, б) применяют при сварке тонкого металла, способы 2 и 3 - при сварке металла средней толщины. Во время сварки нужно стремиться к тому, чтобы металл ванны всегда был защищен от окружающего воздуха газами восстановительной зоны пламени. Поэтому способ 1, при котором пламя периодически отводится в сторону, применять не рекомендуется, так как при нем возможно окисление металла кислородом воздуха.

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Левая сварка (рис. 17.2, а). Этот способ наиболее распространен. Его применяют при сварке тонких и легкоплавких металлов. Горелку перемещают справа налево, а присадочную проволоку ведут впереди пламени, которое направляют на несваренный участок шва. На рис. 17.2, а внизу показана схема движения мундштука и проволоки при левом способе сварки. Мощность пламени при левой сварке берут от 100 до 130 дм³ ацетилена в час на 1 мм толщины металла (стали).

Правая сварка (рис. 17.2, б). Горелку ведут слева направо, присадочную проволоку перемещают вслед за горелкой. Пламя направляют на конец проволоки и сваренный участок шва. Поперечные колебательные движения производят не так часто, как при левой сварке. Мундштуком делают незначительные поперечные колебания; при сварке металла толщиной менее 8

мм мундштук передвигают вдоль оси шва без поперечных движений. Конец проволоки держат погруженным в сварочную ванну и перемешивают им жидкий металл, чем облегчается удаление окислов и шлаков. Тепло пламени рассеивается в меньшей степени и используется лучше, чем при левой сварке. Поэтому при правой сварке угол раскрытия шва делают не 90° , а $60-70^\circ$, что уменьшает количество наплавляемого металла, расход проволоки и коробление изделия от усадки металла шва.

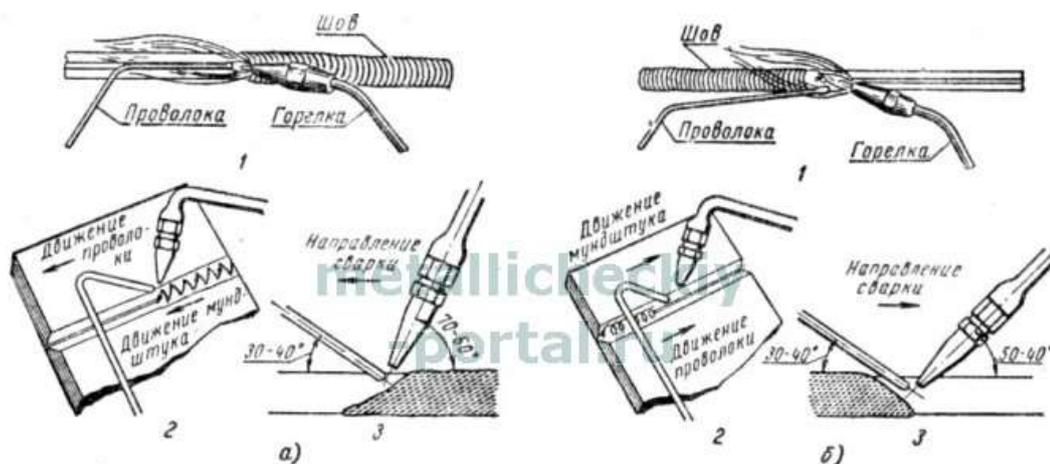


Рис. 17.2. Способы сварки:

а — левый, б — правый; 1 — момент сварки, 2 — схемы движения мундштука и проволоки, 3 — углы наклона мундштука к проволоке

Правой сваркой целесообразно соединять металл толщиной свыше 3 мм, а также металл высокой теплопроводности с разделкой кромок, как, например, красную медь. Качество шва при правой сварке выше, чем при левой, потому что расплавленный металл лучше защищен пламенем, которое одновременно отжигает наплавленный металл и замедляет его охлаждение. Вследствие лучшего использования тепла правая сварка металла больших толщин экономичнее и производительнее левой — скорость правой сварки на 10—20% выше, а экономия газов составляет 10-15%.

Правой сваркой соединяют сталь толщиной до 6 мм без скоса кромок, с полным проваром, без подварки с обратной стороны. Мощность пламени при правой сварке берут от 120 до 150 дм³ ацетилена в час на 1 мм толщины металла (стали). Мундштук должен быть наклонен к свариваемому металлу под углом не менее 40° .

При правой сварке рекомендуется применять присадочную проволоку диаметром, равным половине толщины свариваемого металла. При левой сварке пользуются проволокой диаметром на 1 мм больше, чем при правой сварке. Проволока диаметром более 6—8 мм при газовой сварке не применяется.

Сварка сквозным валиком (рис. 17.3). Листы устанавливают вертикально с зазором, равным половине толщины листа. Пламенем горелки расплавляют кромки, образуя круглое отверстие, нижнюю часть которого заправляют присадочным металлом на всю толщину свариваемого металла. Затем перемещают пламя выше, оплавливая верхнюю кромку отверстия и накладывая следующий слой металла на нижнюю сторону отверстия, и так до тех пор, пока не будет сварен весь шов. Шов получается в виде сквозного валика, соединяющего свариваемые листы. Металл шва получается плотным, без пор, раковин и шлаковых включений.

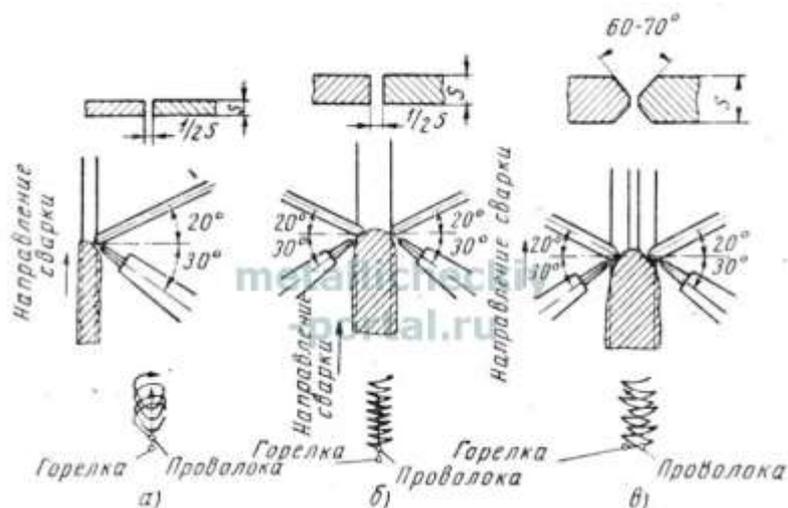


Рис. 17.3. Схемы сварки сквозным валиком при толщине (5) металла в мм. а — от 2 до 6, б — от 6 до 12, в — от 12 до 20

Сварка ванночками. Этим способом сваривают стыковые и угловые соединения металла небольшой толщины (менее 3 мм) с присадочной проволокой. Когда на шве образуется ванночка диаметром 4-5 мм, сварщик вводит в нее конец проволоки и, расплавив небольшое количество ее, перемещает конец проволоки в темную, восстановительную часть пламени. При этом он делает мундштуком круговое движение, перемещая его на следующий участок шва. Новая ванночка должна перекрывать предыдущую на 1/3 диаметра. Конец проволоки во избежание окисления нужно держать в восстановительной зоне пламени, а ядро пламени не должно погружаться в ванночку во избежание науглероживания металла шва. Сваренные этим способом (облегченными швами) тонкие листы и трубы из малоуглеродистой и низколегированной стали дают соединения отличного качества.

Многослойная газовая сварка. Этот способ сварки имеет ряд преимуществ по сравнению с однослойной: обеспечивается меньшая зона нагрева металла; достигается отжиг нижележащих слоев при наплавке последующих; обеспечивается возможность проковки каждого слоя шва перед наложением следующего. Все это улучшает качество металла шва. Однако многослойная сварка менее производительна и требует большего расхода газов,

чем однослойная, поэтому ее применяют только при изготовлении ответственных изделий. Сварку ведут короткими участками. При наложении слоев нужно следить за тем, чтобы стыки швов в различных слоях не совпадали. Перед наложением нового слоя нужно проволочной щеткой тщательно очистить поверхность предыдущего от окалины и шлаков.

Сварка окислительным пламенем. Этим способом сваривают малоуглеродистые стали. Сварку ведут окислительным пламенем, имеющим состав

$$\beta = \frac{O_2}{C_2H_2} = 1.4$$

Для раскисления образующихся при этом в сварочной ванне окислов железа применяют проволоки марок Св-12ГС, Св-08Г и Св-08Г2С по ГОСТ 2246—60, содержащие повышенные количества марганца и кремния, которые являются раскислителями. Данный способ повышает производительность на 10—15%.

Сварка пропан - бутан-кислородным пламенем. Сварка ведется при повышенном содержании кислорода в смеси с целью повышения температуры пламени и увеличения провара и жидкотекучести ванны. Для раскисления металла шва применяют проволоки Св-12ГС, Св-08Г, Св-08Г2С, а также проволоку Св-15ГЮ (0,5—0,8% алюминия и 1 - 1,4% марганца) по ГОСТ.

$$\beta = \frac{\text{кислород}}{\text{пропан - бутан}} = 3.5$$

Исследованиями А. И. Шашкова, Ю. И. Некрасова и С. С.Ваксман установлена возможность использования в данном случае обычной малоуглеродистой присадочной проволоки Св-08 с раскисляющим покрытием, содержащим 50% ферромарганца и 50% ферросилиция, разведенного на жидком стекле. Вес покрытия (без учета веса жидкого стекла) составляет 2,8—3,5% к весу проволоки. Толщина покрытия: 0,4-0,6 мм при использовании проволоки диаметром 3 мм и 0,5—0,8 мм при диаметре 4 мм. Расход пропана 60-80 л/ч на 1 мм толщины стали, $v = 3,5$, угол наклона прутка к плоскости металла составляет 30-45°, угол разделки кромок 90°, расстояние от ядра до прутка 1,5—2 мм, до металла 6-8 мм. Этим способом можно сваривать сталь толщиной до 12 мм. Лучшие результаты получены при сварке стали толщиной 3-4 мм. Проволока Св-08 с указанным покрытием является полноценным заменителем более дефицитных марок проволоки с марганцем и кремнием при сварке пропан-бутаном.

Особенности сварки различных швов. Горизонтальные швы сваривают правым способом (рис. 17.4, а). Иногда сварку ведут справа налево, держа конец проволоки сверху, а мундштук снизу ванны. Сварочную ванну располагают под некоторым углом к оси шва. При этом облегчается формирование шва, а металл ванны удерживается от стекания.

Вертикальные и наклонные швы сваривают снизу вверх левым способом (рис. 17.4, б). При толщине металла более 5 мм шов сваривают двойным валиком.

При сварке потолочных швов (рис. 17.4, в) кромки нагревают до начала оплавления (запотевания) и в этот момент вводят в ванну присадочную проволоку, конец которой быстро оплавливают. Металл ванны удерживается от стекания вниз пруток и давлением газов пламени, которое достигает 100-120 гс/см². Пруток держат под небольшим углом к свариваемому металлу. Сварку ведут правым способом. Рекомендуется применять многослойные швы, свариваемые в несколько проходов.

Сварку металла толщиной менее 3 мм с отбортованными кромками без присадочного металла производят спиралеобразными (рис. 17.4, г) или зигзагообразными (рис. 17.4, д) движениями мундштука.

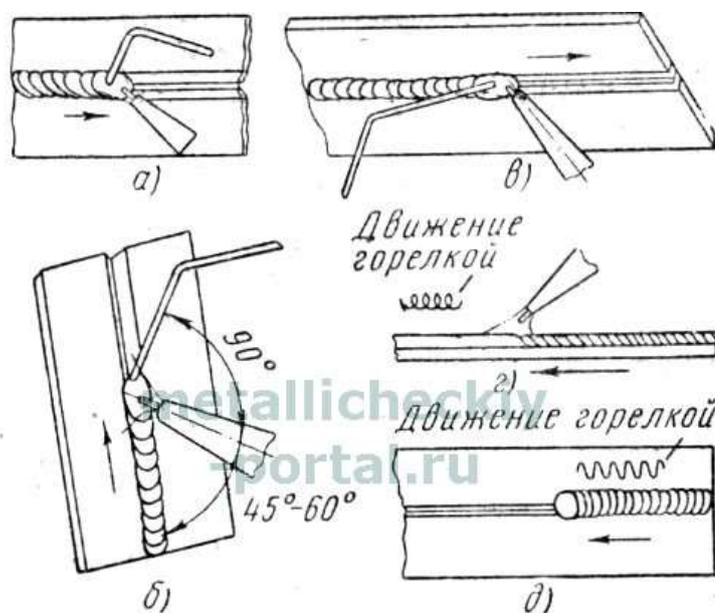


Рис. 17.4. Особенности сварки различных швов:
 а — горизонтальных, б — вертикальных и наклонных, в —
 потолочных, г — с отбортовкой, д — то же

ЛЕКЦИЯ №18

Резания металлов, теория резания металла.

Инструментальные материалы, химический состав, типы, характеристики и применения

Теория резания рассматривает физические основы резания, вопросы пластической деформации металлов, трения, износа инструментов и методы повышения их стойкости, вопросы теплообразования, применения смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), влияние геометрических параметров

инструментов на процесс резания, правила выбора режима резания, вопросы качества обработки, вибрации и др.

Основоположниками науки о резании металлов являются, русские ученые И. А. Тиме (1838—1920), К.А. Зворыкин (1861—1928) и Я. Г. Усачев (1873—1941).

Профессор Петербургского горного института И. А. Тиме в 1870 г. в труде «Сопrotивление металлов и дерева резанию» изложил основные закономерности процесса образования стружки.

К. А. Зворыкин и Я. Г. Усачев выполнили научные исследования процессов резания, имеющие большое практическое значение для производства. Значительный вклад в науку о резании металлов и ее практическое применение внесли советские ученые В. Н. Кривоухов, Г. И. Грановский, В.Д. Кузнецов, В.Ф. Бобров, А.И. Каширин, Е. П. Надеинская, А. И. Исаев и другие, заслуги которых признаны мировой наукой.

Процесс резания металлов заключается в срезании с заготовки поверхностного слоя для получения детали нужной формы, требуемых размеров и качества обработанной поверхности. Срезаемый слой металла называется стружкой. Обработка резанием является наиболее важным процессом в машиностроительном производстве и применяется при изготовлении почти любой продукции. Даже в случае, если

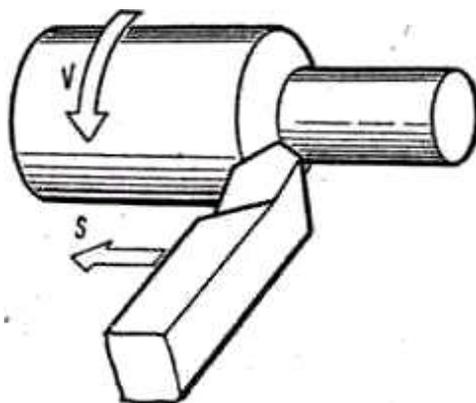


Рис. 18.1. Схема процесса точения

процессы резания не используются в основном производстве, они используются косвенно при изготовлении технологической оснастки и при ремонте оборудования.

Основными видами обработки резанием являются точение, фрезерование, сверление, строгание, шлифование и др. Различные виды обработки или их сочетание выполняются на металлорежущих станках: токарных, фрезерных, сверлильных, шлифовальных, строгальных, протяжных, агрегатных и специальных и на автоматических линиях с помощью различных инструментов — резцов, сверл, фрез, протяжек, шлифовальных кругов и др.

При изучении теории резания принимают за основу обработку на токарных станках—точение, а в качестве инструмента—токарный резец. Для

осуществления процесса точения необходимо иметь два движения: главное движение — вращательное движение заготовки V (рис. 1) и перемещение заготовки—движение подачи S . Скорость главного движения определяет скорость резания, движение подачи обеспечивает непрерывное врезание инструмента в новые слои металла заготовки.

Сведения об инструментальных материалах. Требования, предъявляемые к ним

В конце прошлого. и в начале нашего столетия процессы снятия стружки в металлообрабатывающей промышленности были на очень низком уровне развития.. Главным инструментальным материалом была углеродистая сталь, обладающая низкой износостойкостью и недостаточной способностью противостоять тепловым нагрузкам. В процессе резания режущая кромка инструмента, изготовленная из инструментальной стали с содержанием углерода 1,2 % и закаленная до твердости 66 HRC, могла противостоять температурам 200—250 °С и допускать обработку со скоростями резания 10—15 м/мин.

Несколько позднее появились инструментальные стали, легированные присадками хрома, вольфрама, молибдена, ванадия и др., которые позволили работать со скоростями 20—25 м/мин. Резцы из углеродистых и легированных сталей изготавливаются цельными, из одного куска металла.

В первые два десятилетия двадцатого столетия была открыта быстрорежущая сталь (1906), которая при содержании в ней вольфрама около 19 % могла работать при температуре до 650 °С. Быстрорежущие стали допускают работу при скоростях резания, в 2—3 раза превышающих скорости, возможные при использовании инструментов, изготовленных из инструментальных углеродистых сталей.

Дальнейшие эксперименты с материалами, имеющими повышенное содержание кобальта (Co), хрома (Cr) и вольфрама (W), привели к получению сплава из этих металлов — стеллита (1915) с температурным пределом 800 °С.

Эти два новых материала явились большим достижением в области обработки резанием. Для обточки стального валика диаметром 100 мм и длиной 500 мм резцом из инструментальной стали требовалось 100 мин машинного времени. Быстрорежущая сталь позволила сократить это время До 26 мин, а резцы из стеллита довели его до 15 мин.

В 1920 г. впервые был получен металлокерамический твердый сплав. Этому открытию суждено было сыграть самую важную роль в развитии режущего инструмента. В 30-е годы металлокерамические твердые сплавы нашли широкое применение в металлообработке. Уже первые инструменты из твердых сплавов позволили уменьшить время обработки образцового валика до 6 мин. Сейчас этот инструментальный материал занимает доминирующее положение в области резания металлов.

Твердые сплавы сохраняют относительно высокую твердость при на-

греве до температуры 800—900 °С и позволяют вести обработку на высоких скоростях резания. При соответствующих геометрических параметрах инструмента скорость резания достигает 500 м/мин при обработке сталей марки 45 и 2700 м/мин при обработке алюминия. Твердосплавным инструментом можно обрабатывать детали из закаленной (HRC до 67) и труднообрабатываемых сталей.

Твердые сплавы выпускаются в виде пластинок, стандартизованных по форме и размерам, и сплошных или пустотелых столбиков. Важным событием в инструментальной промышленности было создание на основе принципа «неперетачиваемости» в середине 50-х годов инструментов с поворотными неперетачиваемыми пластинками.

При износе одной режущей кромки пластинка не снимается на переточку, а поворачивается, и новая режущая кромка продолжает резание. В 50-е годы появился минералокерамический материал. Его производство очень схоже с процессом изготовления металлокерамических твердых сплавов. Основной минералокерамических материалов является очень часто корунд (окись алюминия Al_2O_3). Минералокерамика не нашла, однако, широкого применения. Главной причиной тому является недостаточная прочность.

В 1969—1973 гг. появились поворотные пластинки с покрытием, сущность которого заключается в том, что на прочную твердосплавную основу наносится слой износостойкого карбида. Первые твердосплавные пластинки имели слой карбида титана толщиной 4—5 мкм. Применение покрытия увеличило срок службы пластинок примерно на 300 %. Столь существенное улучшение объясняется тем, что наносимый слой действует как диффузионный барьер, имеющий высокую химическую стабильность при повышенных температурах.

В 1976 г. были созданы пластинки с двухслойным покрытием (типа GG015) с использованием окиси алюминия. Наружный слой толщиной в 1 мкм делается из окиси алюминия, а промежуточный слой толщиной в 6 мкм — из карбида титана.

Твердосплавные пластинки с двухслойным, покрытием этого типа обладают отличными режущими свойствами при высоких, средних и низких режимах резания при обработке стали, чугуна при температурах до 1300 °С.

Особое место среди инструментальных материалов занимают алмазы, являющиеся самыми твердыми, самыми износостойкими материалами, но хрупкими и самыми дорогими из всех материалов.

В нашей стране на основе кубического нитрида бора (вещества, состоящего из атомов азота и бора) создан новый сверхтвердый; синтетический материал эльбор, обладающий большой твердостью (до 9000 кгс/мм²) и высокой теплостойкостью (1400 С). Эльбор химически инертен по отношению к углеродсодержащим материалам и более прочен, чем алмаз. Инструмент, изготовленный из эльбора, имеет высокую износостойкость. Эльбор в виде порошка используют для изготовления шлифовальных кругов и другого абразивного инструмента, а эльбор в виде столбиков — для изготовления

резцов.

На рис.19 развитие инструментальных материалов изображено в форме

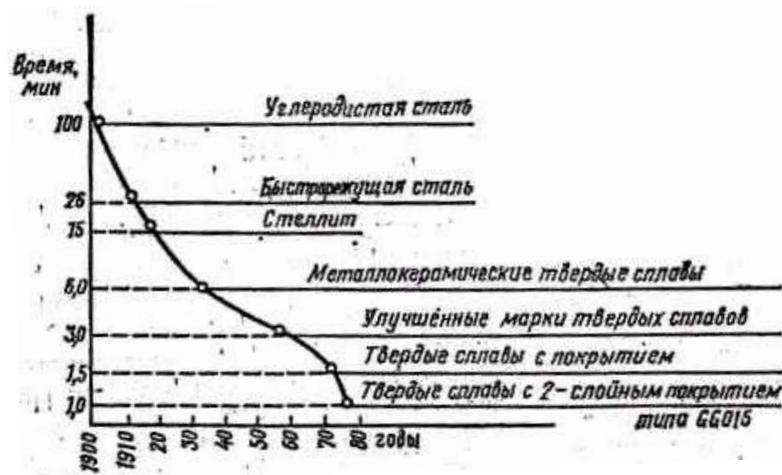


Рис. 18.2 . Диаграмма развития инструментальных материалов

графика, на котором по оси абсцисс отложены годы, а по оси ординат — время, требовавшееся для обточки одного и того же валика в разные годы нынешнего столетия. Как видно из Графика, время обработки образцового валика сократилось со 100 мин в начале 1900-х г. до 1 мин в середине 1970.'х г.

Требования, предъявляемые к инструментальным материалам. Режущие материалы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

высокой твердости, значительно превосходящей твердость обрабатываемого металла;

высокой механической прочности — режущая поверхность инструмента должна выдерживать большое давление, без хрупкого разрушения и заметного пластичного деформирования;

высокой теплостойкости — материал должен сохранять при нагреве твердость, достаточную для осуществления процесса резания;

высокой износоустойчивости — способности материала работать продолжительное время при высокой температуре.

Для изготовления инструмента применяют следующие группы материалов, в различной степени (в разных условиях) удовлетворяющие этим требованиям: 1) инструментальные углеродистые стали; 2) инструментальные легированные стали; 3) быстрорежущие стали; 4) металлокерамические твердые сплавы; 5) минералокерамические материалы; 6) алмазы; 7) абразивные материалы; 8) конструкционные стали.

В табл. 2 приведены свойства основных инструментальных материалов, а на диаграмме (рис. 20) — твердость их в зависимости от температуры резания.

Инструментальные углеродистые стали. Для изготовления режущих инструментов применяются углеродистые стали марок: У7, У8, ..., У13, У7А, У8А, ..., У13А. Буква У указывает, что сталь углеродистая; цифры—среднее содержание в процентах углерода;

2. Свойства основных инструментальных материалов

Инструментальный материал	материал	Твердость, HRA	Предел прочности на изгиб, Н/мм ²	Предел прочности на сжатие Н/мм ²	Теплопроводность, Вт/м*К	Пластичность, %	Коэффициент относительной скорости резания
Углеродистая сталь	У10А-У12А	82	300	300	62,8	20	0,4
Быстрорежущая сталь	P18	83	360	360	20,9	15	1,0
Твердый сплав	ВК-8	88	160	330	58,6	15	3,0
	T15K6	90	115	400	6 27.235		4,0
Минералокерамика	ЦМ-332	92	30-40	150—	20,9	100-1200	5-7
				180	5		



Рис. 18.3. Зависимость твердости инструментальных материалов от температуры

буква А показывает, что сталь повышенного качества с минимальным (небольшим) содержанием вредных примесей. Марки и их состав даны в ГОСТ 1435—54.

Инструмент, изготовленный из углеродистой стали, позволяет вести обработку при скоростях резания 10—15 м/мин и при температурах резания 200—250°C.

Из углеродистых сталей изготавливают слесарные и режущие инструменты, работающие на низких скоростях. Из стали У9А изготавливают зубила, из стали У13 — шаберы, напильники. Учитывая, что углеродистая сталь хорошо шлифуется, сталь У12А применяют для изготовления метчиков, необходимых для обработки точных резьб с мелким шагом.

Легированные инструментальные стали. Легированные

инструментальные стали отличаются от углеродистых наличием в них легирующих элементов — хрома, вольфрама, молибдена, ванадия, марганца, кремния. Стали с такими добавками называются легированными инструментальными сталями. Легированные стали выдерживают температуру нагрева 250—300 °С и дают возможность работать со скоростью резания 20—25 м/мин. Наибольшее распространение получили марки ХВ5, ХВГ, 9ХС, ХГ. Из стали ХВ5 изготавливаются развертки и фасонные резцы. Из стали ХВГ изготавливаются протяжки крупных размеров. Сталь 9ХС отличается высокой карбидной однородностью. Из нее изготавливаются инструменты с тонкими режущими элементами — сверла, раз вертки, метчики, плашки, концевые фрезы небольших диаметров. Химический состав легированных сталей группы и марки даны в ГОСТ 5950—63.

Быстрорежущие стали. Быстрорежущие инструментальные стали отличаются от легированных большим содержанием в них вольфрама, ванадия, хрома, молибдена. Быстрорежущие стали обладают более высокой твердостью, прочностью, износостойкостью и теплостойкостью. Они не теряют своих режущих свойств при температурах 550—600 °С и позволяют работать со скоростью резания в 2,5—3 раза выше, чем инструменты, изготовленные из углеродистых сталей, и в 1,5 раз, выше, чем инструменты, изготовленные из легированных сталей. Быстро режущие стали подразделяются на стали нормальной производительности (P18, P9 и др.) и стали повышенной производительности (P18Ф2К5, P9Ф2К5 и др.). Наибольшее распространение получили стали P9 и P18. Твердость этих сталей — HRC 62—64. Быстрорежущие стали нормальной производительности позволяют работать со скоростью резания до 60 м/мин, а повышенной производительности — до 100 м/мин. Из быстрорежущих сталей изготавливаются инструменты многих наименований: резцы, сверла, зенкеры, развертки, цилиндрические фрезы, червячные фрезы, долбяки, протяжки и др.

Твердые сплавы. Для изготовления режущей части инструмента применяют металлокерамические твердые сплавы. Металлокерамические сплавы получают спеканием порошков карбидов тугоплавких металлов: вольфрама, титана, тантала и связывающего их кобальта. Твердые сплавы обладают высокой теплостойкостью (до 1000 °С) и износостойкостью. Они позволяют работать со скоростями резания в 3—4 раза большими по сравнению с инструментами из быстрорежущей стали. Твердые сплавы выпускаются в виде пластинок определенной формы и стандартных размеров (ГОСТ 2209—69).

Область применения твердых сплавов указана в ГОСТ 3882—74. Из твердых сплавов изготавливаются резцы различных типов, сверла, зенкеры, развертки, торцовые фрезы, червячные фрезы, метчики и др.

Минералокерамические материалы. Для изготовления режущей части инструмента применяют минералокерамические материалы (микролит, терликорунд). Микролит, так же как и твердые сплавы, получают спеканием. Пластины минеральной керамики обладают высокой твердостью (HRA=91—93), высокой теплостойкостью (до 1200 °С) и износостойкостью. Недостатками

керамических материалов являются хрупкость и пониженная прочность. Наиболее высокими режущими свойствами обладает материал марки ЦН-332.

Керамические материалы применяют главным образом при полусточном и чистовом точении и при чистовом и тонком фрезеровании торцовыми фрезами с неперетачиваемыми пластинками.

Алмаз. Алмаз является самым твердым из всех инструментальных материалов. Твердость алмаза в 7 раз превосходит твердость карбида вольфрама и в 3,5 раза — карбида титана. Алмаз обладает высокой теплопроводностью и высокой износостойкостью. Недостатками алмаза являются хрупкость, низкая критическая температура (700—750 °С) и дороговизна.

Алмазы бывают естественные и синтетические. В природе алмазы встречаются в виде кристаллов и сросшихся кристаллических зерен и кристалликов. Искусственные (синтетические) алмазы получают из обычного графита воздействием на него высоких температур и давления. Синтетические алмазы типа «Карбонадо», «Баллас» выпускаются в виде кристаллов и порошков. Шлифовальные круги из синтетических алмазов применяются для заточки и доводки твердосплавных режущих инструментов.

Алмазом оснащаются резцы, торцовые фрезы и перовые сверла. В режущих инструментах применяются кристаллы массой от 931 до 0,75 карата (1 карат равен 0,2 г).

Кубический нитрид бора. Отечественная промышленность выпускает синтетические материалы того же назначения, что и искусственные алмазы. К ним относится в первую очередь кубический нитрид бора. Он представляет собой химическое соединение бора и азота. Технология его изготовления аналогична с производством синтетических алмазов. Исходным материалом является нитрид бора, свойства которого сходны со свойствами графита. Промышленные марки кубического нитрида бора «эльбор Р», «композит», «кубинит» обладают высокой твердостью, высокой теплоемкостью и высокой износостойкостью.

Марки типа «эльбор Р» обладают свойствами, значительно превосходящими минеральную керамику и твердые сплавы. Резцы из эльбора применяют для тонкого чистового точения закаленных сталей (с твердостью HRC 45—60), хромоникелевых чугунов. Торцовые фрезы из эльбора позволяют производить чистовое фрезерование закаленных сталей и получать шероховатость поверхности до $Ra_{1,25}$ мкм. В последнее время освоено производство крупных поликристаллических образований нитрида бора с диаметром 3—4 мм и длиной 5—6 мм, обладающих высокой прочностью. Оснащение такими поликристаллами резцов и торцовых фрез позволяет обрабатывать закаленные стали с твердостью HRC до 50 и высокопрочных чугунов с параметрами шероховатости до $Ra_{0,50}$ мкм. Конструкционные стали. Для изготовления державок, корпусов хвостовиков и деталей для клеймения составного инструмента применяют конструкционные стали: Ст5» Стб, стали 40, 45, 50 и др.

ЛЕКЦИЯ №19

Абразивные материалы.

Абразивные материалы. Механические свойства и сферы применения. Твердость абразивных инструментов, зернистость и структуры.

АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

Абразивный инструмент в отличие от металлического лезвийного не имеет сплошной режущей кромки, а состоит из огромного числа разобщенных режущих элементов (абразивных зерен), скрепленных между собой связкой. Поэтому работоспособность абразивного инструмента характеризуется не только материалом и размером режущего абразивного зерна, но также составом и количеством связки, структурой (расположением абразивных зерен и пор в инструменте). Все эти параметры, маркируемые на каждом абразивном инструменте, составляют его характеристику (рис. 19.1).



Рис. 19.19.Маркировка абразивного инструмента:

КАЗ — марка завода-изготовителя, **14А**— вид шлифовального материала, **40** — номер зернистости, **П** — индекс зернистости, **С2** — степень твердости, **Б** — номер структуры, **К5** — вид связки, **А** — класс точности инструмента, **2** — класс неуравновешенности, **ПП** — форма круга, **500** — наружный диаметр круга (мм), **50** — высота круга (мм), **305**— диаметр посадочного отверстия (мм), **35 м/с**—допустимая окружная скорость.

Абразивные материалы превосходят инструментальные стали по твердости, поэтому они обеспечивают возможность обработки металлов с высокими скоростями резания.

Абразивная способность и износостойкость абразивного материала зависят от его твердости, теплостойкости, хрупкости и дробимости зерна, а также от степени химического взаимодействия с обрабатываемым материалом. Некоторые физико-механические свойства абразивных материалов приведены в табл. 19.1, а характеристики и области применения — в табл. 19.2.

19.19. Физико-механические свойства абразивных материалов.

Абразивный материал	Микротвердость на приборе ПМТ-3,	Абразивная способность шлифовального материала	Теплостойкость
---------------------	----------------------------------	--	----------------

		10 ³ МПа	зернистостью № 16 при шлифовании стекла, усл. ед.	°С
Электрокорунд	нормальный	19.. .20	0,145	1250... 1300
	белый	20.. .21	0,155	1700... 1800
	хромистый	20.. .22	0,101	
	титанистый		0,112	1250 ... 1300
	циркониевый	23.. .24	—	1900. .. 2000
Монокорунд	0,15		1700. .. 1800	
Сферокорунд		20...21	—	
Карбид кремния:	зеленый	33...36	0,45	1300. .. 1400
	черный		0,4	
Карбид бора		40.. .45	0,5	700. .. 800
Эльбор		80.. .100	0,6	1400. .. 1500
Алмаз	синтетический	53 ... 96	0,7	600. .. 700
	природный	86 ... 100	0,77	700. .. 800
Корунд		19 ... 22	0,135	1700 ... 1800
Наждак			0,105	
Гранат		13 ... 16,5	0,103	1200 ... 1250
Кремень		10 ... 11	0,05	1500 ... 1600

19.2 Характеристики и области применения абразивных материалов.

Характеристика	Марка	Область применения
Электрокорунд нормальный		

<p>Обладает высокой теплоустойкостью, сцепляемостью со связкой, механической прочностью зерен и значительной вязкостью, необходимой для выполнения операций с переменными нагрузками</p>	13А	Изготовление инструмента на органических связках для обдирочного шлифования стальных заготовок. Отделочные работы незакрепленным зерном.
	14А	Изготовление инструмента на органических и неорганических связках для шлифования стальных заготовок
	15А	Изготовление: инструмента на керамических и бакелитовых связках для скоростного шлифования; шлифовальной шкурки для отделочных работ
Электрокорунд белый		
<p>По физическому и химическому составу более однороден, имеет более высокую твердость и острые кромки, обладает лучшей самозатачиваемостью и обеспечивает меньшую шероховатость обрабатываемой поверхности по сравнению с электрокорундом нормальным</p>	23А	Изготовление инструмента на органических связках для шлифования стальных заготовок; абразивных паст и брусков. Отделочные работы незакрепленным зерном.
	24А	Изготовление шлифовальных кругов и брусков из шлифзерна и шлифпорошков на всех связках для чистовой обработки закаленных стальных деталей; шлифовальной шкурки для отделочных работ
	25А	Изготовление шлифовальных кругов и брусков из шлифзерна, шлифпорошков и микрошлифпорошков для скоростного шлифования и доводки стальных закаленных деталей; инструмента для шлифования заготовок из труднообрабатываемых сталей и сплавов; шлифовальной шкурки для отделочных работ
Электрокорунд циркониевый		
<p>Мелкокристаллический, плотный и весьма прочный материал; стойкость инструмента на обдирочных операциях в 10..40 раз превышает стойкость аналогичного инструмента из электрокорунда нормального</p>	38А	Изготовление инструмента на бакелитовых связках для обдирочного шлифования стальных заготовок с высокими скоростями и подачами
Электрокорунд хромотитанистый		

Обладает более высокими механической прочностью и абразивной способностью по сравнению с электрокорундом нормальным	91А, 92А	Изготовление инструмента для шлифования с большим съемом металла и обдирочного шлифования
	91А, 92А	Изготовление инструмента на керамических и бакелитовых связках для шлифования стальных закаленных и незакаленных заготовок
Монокорунд		
Имеет изометрическую форму зерна, высокую механическую прочность, в процессе шлифования скалывается и этим обеспечивает высокие режущие свойства и малую силу резания.	43А	Изготовление инструмента им шлифзерна и шлифпорошка на керамических связках для чистовой обработки деталей из труднообрабатываемых сталей и сплавов
	44А, 45А	Изготовление шлифовальной шкурки для отделочных работ и доводки. Обработка незакрепленным зерном
Сферокорунд		
При шлифовании сферические зерна разрушаются и обнажают режущие кромки инструмента, обеспечивая производительную обработку при малом тепловыделении	3С	Изготовление инструмента для обработки мягких и вязких материалов — кожи, резины, пластмасс, цветных металлов и др.
Карбид кремния черный		
Отличается от электрокорунда повышенными твердостью, абразивной способностью и хрупкостью (зерна имеют вид тонких пластинок, вследствие чего увеличивается их хрупкость в процессе работы; кроме того, они хуже удерживаются связкой в инструменте), применяется для обработки твердых, хрупких и очень вязких материалов с низким сопротивлением разрыву	53С	Изготовление: инструмента из шлифпорошков и микрошлифпорошков на всех связках для обработки заготовок из чугунов, цветных металлов и вольфрамовых твердых сплавов, шлифовальной шкурки для отделочных работ и доводки. Отделочные работы и доводка деталей из чугунов и цветных металлов незакрепленными микрошлифпорошками. Отделочные работы и доводка незакрепленным зерном
	54С	Изготовление: инструмента из шлифзерна на всех связках для обработки заготовок из чугунов, цветных металлов и вольфрамовых

		твердых сплавов, шлифовальной шкурки для отделочных работ
Карбид кремния зеленый		
Отличается от карбида кремния черного повышенными твердостью, абразивной способностью и хрупкостью	62С	Изготовление: инструмента из шлифпорошков на всех связках для обработки заготовок из чугунов, меди, алюминия, гранита, мрамора; шлифовальной шкурки для отделочных и доводочных работ. Отделочные работы и доводка незакрепленным зерном.
	63С	Изготовление инструмента из шлифзерна на всех связках для обработки заготовок из титановых и титанотанталовых твердых сплавов; шлифовальной шкурки для отделочных и доводочных работ.
	64С	Изготовление: инструмента из микрошлифпорошков на всех связках для обработки заготовок из чугунов, меди, алюминия, гранита, мрамора; шлифовальной шкурки для отделочных и доводочных работ. Отделочные работы и доводка незакрепленным зерном
Карбид бора		
Значительно превышает электрокорунд и карбид кремния по твердости и абразивной способности, хотя и очень хрупок.	КБ	Шлифование, отделочные работы и доводка незакрепленным зерном деталей из твердых сплавов и чугунов.
Эльбор (кубический нитрид бора)		
Имеет наивысшие после алмаза твердость и абразивную способность, обладает высокой теплостойкостью и повышенной хрупкостью; инертен к железу.	ЛП,ЛО	Изготовление инструмента из шлифпорошков и микрошлифпорошков на всех связках для чистовой обработки высокоточных деталей из труднообрабатываемых закаленных сталей, шлифовальной шкурки для отделочных работ; инструмента для чистовой заточки режущего инструмента. Отделочные работы незакрепленным зерном.
Алмаз синтетический		
Превышает по твердости эльбор; обладает высокой	АС2 (АСО)	Изготовление инструмента на органических связках для чистовой

<p>износостойкостью и пониженной теплостойкостью, химически активен к железу; имеет повышенную хрупкость и пониженную прочность, что способствует самозатачиванию, синтетический алмаз каждой последующей марки (от АС2 до АС50) отличается от предыдущего более высокой прочностью и меньшей хрупкостью.</p>	<p>обычной прочности</p>	<p>обработки и доводки деталей из твердых сплавов и сталей</p>
	<p>АС4 (АСР)</p> <p>П овыш. прочност и</p>	<p>Изготовление инструмента на органических и керамических связках для шлифования заготовок из твердых сплавов, керамики и других хрупких материалов</p>
	<p>АС6 (АСБ)</p> <p>В ысокой прочност и</p>	<p>Изготовление инструмента на металлических связках, работающего при повышенных нагрузках</p>
	<p>АС15 (АСК)</p> <p>кр исталлы</p>	<p>Изготовление инструмента на металлических связках, работающего в тяжелых условиях (резка и обработка стекла, шлифование и полирование камня)</p>
	<p>АС32 (АСС)</p> <p>монокристаллы сортированные</p>	<p>Изготовление инструмента на металлических связках для бурения, резки камня, чернового хонингования</p>
	<p>АС50</p>	<p>Изготовление инструмента, работающего в особо тяжелых условиях (бурение пород IX и X категорий буримости, резка гранита, обработка керамики, кварцевого стекла, корунда и др.)</p>
<p>Поликристаллические дробленые алмазы типа «баллас»</p>	<p>АРБ1 (АСБ)</p>	<p>Изготовление инструмента для чернового хонингования чугунов, резки стеклопластиков</p>
<p>Поликристаллические дробленые алмазы типа «карбонадо»</p>	<p>АРК4 (АСПК)</p>	<p>Изготовление инструмента, работающего в тяжелых условиях (хонингование, обработка камня и материалов в стройиндустрии)</p>
<p>Поликристаллические дробленые алмазы типа «спеки»</p>	<p>АРС3</p>	<p>Изготовление инструмента, работающего в особо тяжелых условиях (бурение, правка шлифовальных кругов, обработка камня и материалов в стройиндустрии)</p>

Алмаз природный		
Обладает наивысшими твердостью и износостойкостью, используется главным образом на операциях, где необходимы исключительно высокая износостойкость и повышенная абразивная способность инструмента при обработке твердых и сверхтвердых материалов	A1, A2, A3	Изготовление инструмента на металлических связках для обработки технического стекла, керамики, камня, бетона
	A5	Изготовление шлифовальных кругов на металлических связках, в том числе гальваническим методом, для обработки металла, керамики и др.
	A5, A8	Изготовление правящего и бурового инструмента, а также инструмента для обработки камня и материалов в стройиндустрии
Другие		
Корунд	92E	Изготовление инструмента и микропорошков для полирования деталей из стекла и металлов
Кремень	81Кр	Изготовление шлифовальной шкурки для обработки древесины, кожи, эбонита
Наждак	--	Изготовление мельничных жерновов. Обработка незакрепленным зерном
Гранат	--	Изготовление шлифовальной шкурки для обработки древесины, кожи, пластмасс. Обработка стекла незакрепленным зерном

Измельченный на фракции абразивный материал называют *шлифовальным*.

Фракция — это совокупность абразивных зерен в установленном интервале размеров.

Преобладающую по массе, объему или числу зерен фракцию называют *основной*.

Зернистость характеризует размер режущих зерен основной фракции в данном инструменте.

В зависимости от размера зерен шлифовальные материалы делятся на следующие группы: шлифзерно — от № **200** до № **16**; шлифпорошки — от № **12** до № **4**; микрошлифпорошки — от **M63** до **M14**; тонкие микрошлифпорошки — от **M10** до **M5**. Шлифзерно и шлифпорошки получают ситовым рассевом, микрошлифпорошки —

осаждением в жидкости (гидроклассификация). Однородность зернового состава, существенно влияющая на шероховатость обрабатываемой поверхности, режущие свойства и стойкость инструмента, характеризуется процентным содержанием основной фракции. Поэтому условное обозначение зернистости дополняют буквенным индексом, соответствующим этому процентному содержанию: **В** — высокое; **П** — повышенное; **Н** — номинальное; **Д** — допустимое.

В зависимости от группы материалов зернистость обозначается следующим образом:

для **шлифзерна и шлифпорошков** — 0,1 размера (мкм) в свету стороны ячейки сита, на котором задерживаются зерна основной фракции, например **40, 25, 16** (соответственно 400, 250, 160 мкм);
 для **микрошлифпорошков** — по верхнему пределу размера зерен основной фракции с добавлением индекса М, например **М40, М28, М10** (соответственно 40, 28, 10 мкм);
 для **алмазных шлифпорошков** — дробью, у которой числитель соответствует размеру (мкм) стороны ячейки верхнего сита, а знаменатель — размеру (мкм) стороны ячейки нижнего сита основной фракции, например **400/250, 400/315, 160/100, 160/125**;
 для **алмазных микрошлифпорошков и субмикропорошков** — дробью, у которой числитель соответствует наибольшему (мкм), а знаменатель — наименьшему размеру (мкм) зерен основной фракции, например **40/28, 28/20, 10/7**;
 для **шлифзерна и шлифпорошков эльбора** — в зависимости от метода контроля: при ситовом методе — 0,1 размера (мкм) в свету стороны ячейки сита, на котором задерживаются зерна основной фракции, например **Л20, Л16, Л10**; при микроскопическом методе — аналогично обозначению зернистости алмазных **шлифзерна и шлифпорошков**, например **250/200, 200/160, 125/100**.

Требования к зерновому составу *шлифовальных* материалов приведены в ГОСТ 3647—80, *алмазных порошков* — в ГОСТ 9206—80Е, *эльбора* в зерне — в ОСТ 2-МТ79-2—75.

В **табл. 19.3** указаны зернистость, процентное содержание основной фракции, соответствующее каждому индексу, и области применения шлифовальных материалов в зависимости от зернистости.

Твердость характеризует прочность закрепления абразивных зерен в инструменте с помощью связки, поэтому она определяется количеством и свойствами связки, введенной в инструмент. С увеличением количества связки на 1,5% твердость инструмента повышается на одну степень. При этом объем связки увеличивается за счет соответствующего уменьшения объема пор. Расстояние между зернами остается неизменным. На **рис. 19.2**, а, б показаны структуры мягкого и твердого абразивного инструмента.

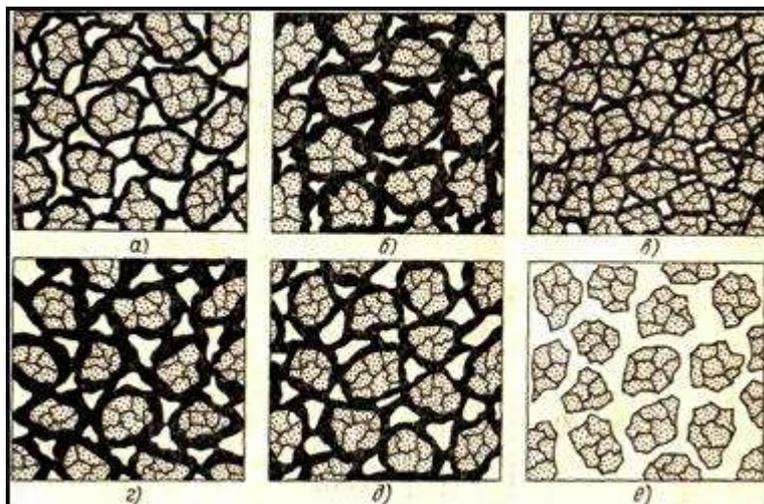


Рис. 19.2. Структуры абразивного инструмента:

- а** — мягкого круга,
- б** — твердого круга,
- в** — плотная,
- г** — открытая,
- д** — на керамической связке,
- е** — на вулканитовой связке.

Твердость оказывает влияние на режущие свойства и кромкостойкость инструмента, а также на характер его изнашивания в процессе резания. Если прочность закрепления зерен в инструменте ниже прочности самого абразивного зерна, то изнашивание происходит вследствие выкрашивания зерен и абразивный инструмент работает в режиме самозатачивания. Если же прочность абразивного зерна окажется ниже прочности его закрепления в инструменте, то изнашивание будет протекать частично за счет хрупкого разрушения, скалывания зерен и частично за счет их стирания с образованием площадок износа на зерне. В **табл. 19.4** приведена классификация твердости и указаны области применения абразивного инструмента в зависимости от его твердости.

19.4 Твердость абразивного инструмента и области его применения в зависимости от твердости

Степень твердости	Обозначение твердости	Область применения
Мягкий (М)	М19...М3	Шлифование с интенсивным самозатачиванием инструмента — плоское (торцом круга), внутреннее (закаленных сталей), заточка и доводка режущего инструмента, цветных металлов, труднообрабатываемых и вязких сплавов, высокотвердых закаленных сталей, имеющих склонность к прижогам и трещинам; зубошлифование, резбошлифование; чистовое шлифование и суперфиниширование
Среднемягкий (СМ)	МС1, СМ2	
Средний (С)	С1, С2	Окончательное и чистовое шлифование (круглое, бесцентровое и внутреннее), плоское шлифование периферией круга, резбошлифование шлифование чугунов, обдирочное шлифование торцом круга
Среднетвердый (СТ)	СТ19...СТ3	Круглое и бесцентровое врезное шлифование, профильное шлифование, обработка разобценных поверхностей, обдирочное шлифование чугунов
Твердый (Т)	Т1, Т2	Обдирочное шлифование; снятие заусенцев на поковках и литье, изготовление отрезных кругов и ведущих кругов для бесцентрового шлифования; хонингование закаленных сталей, врезное профильное шлифование с большим объемом металла
Весьма твердый (ВТ)	ВТ1, ВТ2	Обдирочное шлифование и зачистка в металлургии и кузнечно-литейном производстве; правка шлифовальных кругов, шлифование с большим давлением резания (например, шаров)
Чрезвычайно твердый (ЧТ)	ЧТ1, ЧТ2	

Примечание. В таблице дана шкала твердостей для инструмента на керамической и бакелитовой связках. Инструмент на вулканитовой связке выпускают твердостью С, СТ и Т.

Структура абразивного инструмента характеризуется соотношением объемов абразивных зерен, связки и пор. Система регулирования структур основана на сохранении равенства $V_3+V_C+V_{II}=100\%$, где V_3 — объем зерна, V_C объем связки, V_{II} — объем пор. Определяющим параметром структуры является объем V_3 . С увеличением на один номер структуры объем зерен уменьшается на 2%, расстояние между зернами и размер отдельных пор увеличиваются, однако для сохранения одинаковой твердости инструмента объем связки также увеличивается на 2%, при этом объем пор остается неизменным. Различные соотношения объемов зерна и связки, при соблюдении которых в процессе производства получают абразивные инструменты различной твердости с тем или другим объемом пор, приведены в **табл. 19.5.**

19.5. Структура абразивных инструментов

Но мер стру ктуры	3, %	Твердость																
		M1	M2	1	2	3	M1	M2	1	2	T1	T2	T3	1	2	T1	T2	T
		$V_{II}, \%$																
		8	6,5	5	3,5	2	0,5	9	7,5	6	4,5	3	1,5	0	8,5	7	5,4	4
		$V_C, \%$																
0	2								,5		,5		,5		,5	1	2,5	4
1	0								,5		,5		,5	0	1,5	3	4,5	6
2	8						,5		,5		,5		0,5	2	3,5	5	6,5	8
3	6				,5		,5		,5		,5	1	2,5	4	5,5	7	8,5	0
4	4				,5		,5		,5	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9	0,5	2
5	2		,5		,5		,5		0,5	2	3,5	5	6,5	8	9,5	1	2,5	4
6	0		,5		,5		,5	1	2,5	4	5,5	7	8,5	0	1,5	3	4,5	6
7	8		,5		,5	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9	0,5	2	3,5	5	6,5	8
8	6		,5		0,5	2	3,5	5	6,5	8	9,5	1	2,5	4	5,5	7	8,5	0
9	4		,5	1	2,5	4	5,5	7	8,5	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9	0,5	2
10	2	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9	0,5	2	3,5	5	6,5	8	9,5	1	2,5	4
11	0	2	3,5	5	6,5	8	9,5	1	2,5	4	5,5	7	8,5	0	1,5	3	4,5	6
12	8	4	5,5	7	8,5	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9	0,5	2	3,5	5	6,5	8

Таким образом, абразивные инструменты, имеющие одинаковые зернистость и твердость, но разные структуры, различаются между собой по степени сближения абразивных зерен. Структуру, обозначенную № 19...4, принято называть **закрытой** (плотной), № 4...8 — **средней**, №9...12 и выше (до 16) — **открытой**. Чем больше номер структуры, тем больше расстояние между зернами, т. е. структура более открытая.

Плотная и открытая структуры инструмента показаны на рис. **19.2, в, г.** Инструменты открытой структуры имеют улучшенные условия отвода стружки и меньшее тепловыделение. Наиболее эффективно их применение при обработке вязких металлов, а также металлов, склонных к прижогам и трещинам. Рекомендуемые области применения инструмента основных номеров структур следующие:

№ 19...3 — изготовление инструмента на бакелитовой и керамической связках при шлифовании с малым съемом металла, преимущественно для обработки шарикоподшипников;

№ 3, № 4 — профильное шлифование, шлифование с большими подачами и переменной нагрузкой, отрезные работы;

№ 4...6 — круглое наружное, бесцентровое, плоское шлифование периферией круга;

№ 7...9 — плоское шлифование торцом круга, внутреннее шлифование, заточка инструмента;

№ 8...10 — шлифование и заточка инструмента, оснащенного твердым сплавом;

№ 8...12 — профильное шлифование мелкозернистыми кругами (резьбошлифование). Увеличенные размеры пор достигаются добавкой в абразивную массу порообразующих веществ, выгорающих при термической обработке инструмента (молотый уголь, пластмассовая крошка, древесные опилки). Такой абразивный инструмент называется высокопористым. Наибольшая его эффективность проявляется при обработке очень вязких материалов, при сухом (без подачи охлаждающей жидкости) шлифовании и заточке. Связка определяет прочность и твердость инструмента, оказывает большое влияние на режимы, производительность и качество обработки. Различают связки неорганические и органические. К неорганическим связкам относятся керамическая, силикатная и магнезиальная (для алмазного инструмента — металлическая), к органическим — бакелитовая, вулканитовая, глифталевая, поливинилформалева, эпоксидная. Керамическая связка обладает высокой огнеупорностью, водостойкостью, химической стойкостью, хорошо сохраняет профиль рабочей кромки, круга, но чувствительна к ударным и изгибающим нагрузкам. Применяют плавящиеся и спекающиеся керамические связки. Абразивный инструмент из электрокорунда изготавливают на плавящихся связках, а из карбида кремния — на спекающихся. Шлифовальные круги из электрокорунда более прочны, чем из карбида кремния. Силикатная и магнезиальная связки, малопрочные и чувствительные к охлаждающим жидкостям, имеют ограниченное применение. Основное их преимущество — меньшее выделение теплоты при шлифовании. Абразивный инструмент на бакелитовой связке обладает более высокими прочностью (на сжатие и изгиб) и упругостью, чем инструмент на керамической связке. Он может быть изготовлен различных форм и размеров, в том числе и очень тонким — до 0,5 мм для отрезных и прорезных работ. Недостатком бакелитовой связки является невысокая стойкость к воздействию охлаждающих жидкостей, содержащих щелочные растворы. Для повышения этой стойкости круги покрывают лаком, суриком или какой-либо водонепроницаемой краской, иногда пропитывают парафином. При шлифовании кругами на бакелитовой связке охлаждающая жидкость должна содержать не более 1,5% щелочи. Круги на бакелитовой связке обладают меньшей кромкостойкостью, чем на керамической. Бакелитовая связка имеет более слабое, чем керамическая, сцепление с абразивным зерном, поэтому инструмент на этой связке широко используют на операциях плоского шлифования, где необходимо самозатачивание круга. Бакелитовая связка, имеющая невысокую теплостойкость, выгорает при нагревании до 250 – 300 °С, а при 200 °С и выше она приобретает хрупкость. Абразивный инструмент на бакелитовой связке чаще изготавливают из электрокорунда нормального и карбида кремния черного. Основой вулканитовой связки является термически обработанная смесь каучука с серой, поэтому инструмент на такой связке, приобретающий свойство эластичности, используется при обработке фасонных поверхностей и профильном шлифовании. Круги на вулканитовой связке работают на скоростях до 60 м/с и могут быть изготовлены толщиной 0,3 ... 0,5 мм для

отрезных работ.
 Вулканитовая связка по сравнению скерамической значительно хуже удерживает абразивные зерна, что компенсируется повышением ее количества за счет уменьшения пор (**рис. 19.2, д, е**). Вследствие этого инструмент на вулканитовой связке отличается плотной структурой, вызывающей увеличенное тепловыделение при шлифовании. Низкая теплостойкость каучука (150 ...180° С) приводит к размягчению и выгоранию связки при интенсивном резании. Абразивные зерна углубляются в эластичную связку и режут на меньшей глубине подобно более мелкозернистому инструменту, обеспечивая наименьшую шероховатость поверхности. Эти особенности вулканитовой связки эффективно используются при чистовой обработке фасонных поверхностей.
 Наиболее часто употребляемые связки и области их применения указаны в **табл. 19.6**.

19.6. Связки абразивных кругов и области их применения

Связка	М арка	Область применения
Керамическая	КО	Изготовление малогабаритных кругов для внутреннего шлифования
	К1, К5, К8	Изготовление инструмента общего назначения для всех видов шлифования, кроме отрезных и прорезных работ
	К5, К7	Изготовление инструмента повышенной прочности и кромкостойкости для скоростного, профильного и прорезного, прецизионного шлифования
	К2, К3	Изготовление инструмента из карбида кремния для всех видов шлифования и заточки
Бакелитовая	Б	Изготовление инструмента с повышенной режущей способностью для шлифования заготовок, имеющих склонность к прижогам, для зачистного и обдирочного шлифования, заточки и хонингования
	Б1	Изготовление инструмента общего назначения для плоского, внутреннего шлифования, заточки, разрезных работ
	Б2	Изготовление инструмента для шлифования торцом сегментных кругов
	Б3	Изготовление инструмента для резьбошлифовальных и отрезных работ, хонингования
	БУ	Изготовление инструмента повышенной прочности для скоростного шлифования, зачистки литья и поковок, отрезных работ
Вулканитовая	В, В1	Изготовление ведущих кругов, инструмента для бесцентрового шлифования, отрезных работ, обработки фасонных поверхностей,

		хонингования незакаленных сталей и чугунов, отделочного шлифования и полирования
	В2	Изготовление инструмента повышенной прочности для скоростного шлифования и абразивного резбонарезания
	В3	Изготовление инструмента повышенной режущей способности для профильной обработки подшипников качения, чистового шлифования цилиндрических и некруглых поверхностей
Глифталева	ГФ	Изготовление инструмента для доводочных и полировальных работ
Поливинилформалева	ПФ	То же
Металлическая	М	Изготовление алмазного и эльборового инструмента

Вследствие расширяющихся экономических связей с зарубежными странами в импортируется абразивный инструмент, имеющий маркировку, соответствующую стандарту страны-экспортера. Ниже для примера представлены данные по маркировке абразивного инструмента, соответствующие стандарту США ANSI В 74.13—1972.

Абразивный материал обозначают буквами:
 электрокорунд — **А**;
 эльбор — **В**;
 карбид кремния (SiC) — **С**;
 алмаз — **Д**.
 Перед обозначением может стоять (но не обязательно) вводный символ изготовителя, указывающий конкретный вид абразивного материала.

Четыре степени зернистости обозначают цифрами:
 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24— **грубая**;
 30, 36, 46, 54, 60 — **средняя**;
 70, 80, 90, 100, 120, 150, 180 — **тонкая**;
 220, 240, 280, 320, 400, 500, 600 — **очень тонкая**.

Твердость характеризуется 26 степенями, обозначаемыми латинскими буквами:
А, В, С, D, Е, F, G, H, I, J, К (мягкий инструмент);
L, М, N, O, Q, R (инструмент средней твердости);
S, Т, U, V, W, X, Y, Z (твердый инструмент).

Структуру обозначают цифрами от 1 до 16. Чем большей цифрой обозначена структура, тем она более открытая (открытая структура может обозначаться цифрами и более 16).

Девять видов **связок** обозначают следующим образом:

B		—		бакелитовая;
BF	—	бакелитовая	c	усилением;
E		—		шеллаковая;
M		—		металлическая;
O		—		магнезиальная;
R		—		Вулканитовая;
RF	—	Вулканитовая	c	усилением;
S		—		силикатная;
V		—		керамическая.

В качестве примера можно привести следующую маркировку шлифовального круга: **51A36L5V23** (последние цифры являются фирменным элементом маркировки, который может опускаться).

Сравнительная характеристика абразивного инструмента, выпускаемого в США и СССР.

С трана	Зернистость				
	грубая	средняя	тонкая	очень тонкая	
США	8; 10; 12; 14; 16; 20; 24	30; 36; 46; 54; 60	70; 80; 90; 100; 120; 150, 180	220; 240; 280; 320; 400; 500; 600	
СССР	шлифзерно		шлифпорошки	микрошлипорошки и тонкие микрошлифпорошки	
	200; 160; 125; 100; 80; 63; 50; 40; 32; 25; 20; 16		12; 10; 8; 6; 5; 4	M63; M50; M40; M28; M20; M14; M10; M7; M5	
С трана	Связка				
	керамическая	бакелитовая	вулканитовая	магнезиальная	силикатная
США	V	B	K	O	S

СССР	С	К	Б	В	М	С
Страна	Твердость					
ША	Мягкий		Средней твердости		Твердый	
	J, K	A, B, C, D, E, F, G, H, I,	L, M, N, O, P, Q, R		S, T, U, V, W, X, Y, Z	
СССР	Мягкий	Средне мягкий	Средний	Средне твердый	Твердый	Высоко твердый
	М19...М3	СМ1, СМ2	С1, С2	СТ19... СТ3	Т1, Т2	ВТ1, ВТ2, Т1, ЧТ2

ЛЕКЦИЯ №20 РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ .

Поверхность геометрия

Элементы и углы резца

Резец состоит из режущей части (головки) и стержня (рис. 20.1). Стержень служит для закрепления резца в

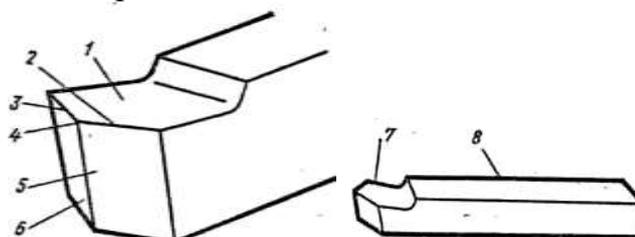


Рис.20.1. Элементы резца: 1—передняя поверхность, 2—главная режущая кромка, 3— вспомогательная задняя поверхность, 4—вершина резца, 5—главная задняя поверхность, 6— вспомогательная режущая кромка, 7— режущая часть, 8— стержень.

резцедержателе станка. Режущая часть состоит из следующих элементов: передней поверхности 1—поверхности, по которой сходит стружка, главной задней 5 и задней вспомогательной 3 поверхностями, обращенных к обрабатываемой заготовке; главной режущей кромки 2, образующейся от

пересечения передней и главной задней поверхностей, выполняющей основную работу резания и вспомогательной режущей кромки b , образующейся от пересечения передней и вспомогательной задней поверхностей.

Вершины резца 4 —место сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок. Вершина резца может

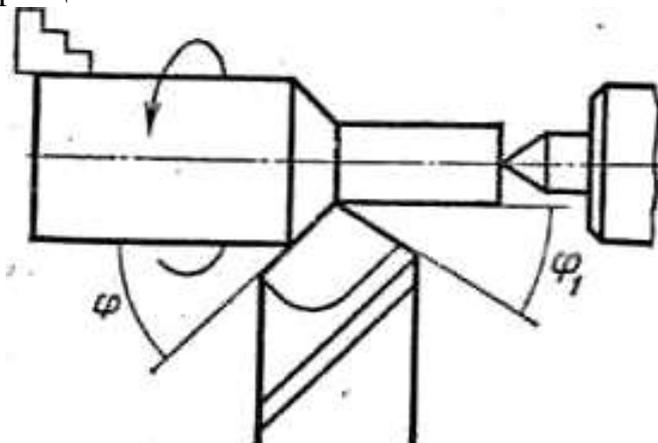


Рис. 20.2. Углы резца в плане:
 φ —главный угол, φ_1 —вспомогательный угол
 быть острой, закругленной и срезанной.

Режущая часть резца имеет форму клина, заточенного с определенными углами. Чтобы обеспечить режущую способность инструмента, получить требуемую точность и качество поверхности детали, необходимо правильно выбрать углы режущей части резца. Различают углы в плане и основные углы резца.

Углами в плане называются углы между режущими кромками резца и направлением подачи: φ —главный угол в плане, φ_1 —вспомогательный угол в плане (рис. 20.2).

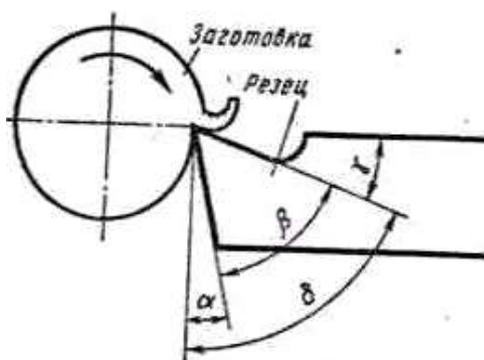


Рис. 20.3. Основные углы резца:
 α — главный задний угол, β — угол заострения, γ — передний угол, δ —
 угол резания.

Основные углы резца (рис. 20.3): передний угол — γ , главный задний угол — α , угол заострения — β , угол резания — δ .

Элементы срезаемого слоя

Элементами срезаемого слоя являются ширина, толщина и площадь поперечного сечения среза. Если рассечь слой металла, срезаемого с поверхности резания за один оборот, плоскостью, проходящей через ось детали, в сечении получим параллелограмм с основанием s , высотой t и сторонами AB и DC , наклоненными к оси детали под углом φ (рис. 13). Полученный параллелограмм называется площадью сечения срезаемого слоя, а его стороны (размеры) t и s —технологическими размерами срезаемого слоя.

Размер a расстояние между двумя последовательными положениями 1 и 2 главной режущей кромки резца за один оборот детали называется толщиной среза.

Размер b — длина контакта режущей кромки резца с обрабатываемой заготовкой называется шириной среза.

Физические и технологические размеры срезаемого слоя связаны между собой следующими соотношениями

$$a = s \sin \varphi; \quad b = \frac{t}{\sin \varphi}$$

Площадь поперечного сечения среза (мм^2)

$$F = ab = st.$$

Типы токарных резцов

По виду обработки токарные резцы делятся на проходные, подрезные, отрезные, расточные, прорезные, фасонные и резьбовые. При работе на агрегатных станках применяются проходные, подрезные, прорезные (канавочные) и расточные резцы (рис. 20.4).

Проходные резцы применяют для наружного точения деталей. При этом угол в плане у этих резцов может колебаться от 45° до 90° (для обработки уступов). Резцы с углом $\varphi = 90^\circ$ часто используют и как подрезные.

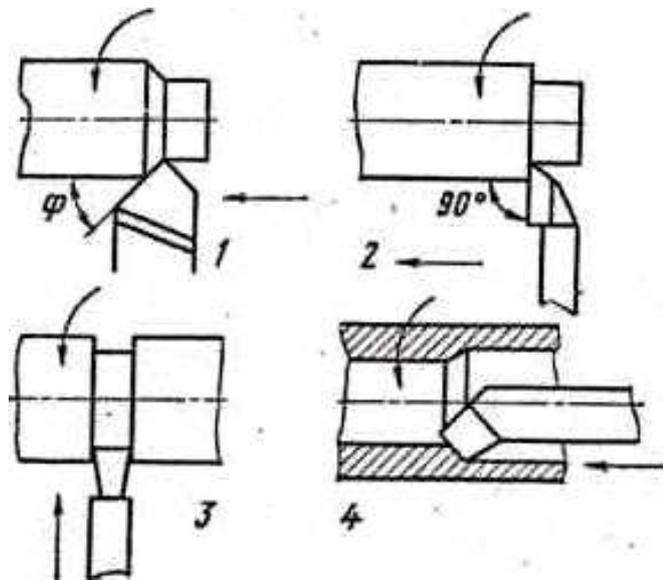


Рис. 20.4. Типы резцов по назначению: 1 — проходной прямой, 2 — подрезной, 3 — прорезной, 4 — расточной

Прорезные резцы служат для получения канавки заданной ширины как на наружных, так и на внутренних поверхностях.

По сечению стержня резцы подразделяются на прямоугольные, квадратные и круглые; по конструкции головок — на прямые, отогнутые и изогнутые.

Различают правые и левые резцы в зависимости от положения главного режущего лезвия.

Правыми называются такие резцы, у которых подача осуществляется справа налево. У правых резцов при наложении на них ладони правой руки направлением пальцев к вершине резца главная режущая кромка совпадает с направлением большого пальца. Соответственно определяются и левые резцы.

На рис. 20.5—20.8 показаны резцы, различные по способу крепления режущей части. Резцы могут быть цельными, сделанными из одного куска материала (рис. 20.5, а), и составными, у которых державка делается из конструкционной стали, а режущая часть из специального материала. На рис. 20.5б изображен сварной резец, на рис. 20.6 — с напаянной пластинкой и на рис. 20.7 — с механическим креплением пластинки.

В качестве режущей части наибольшее распространение получили резцы, оснащенные твердосплавными пластинками.



Рис. 20.5. Резцы: а - цельный, б - сварной

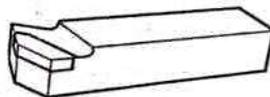


Рис. 20.6. Резец с напаянной пластинкой

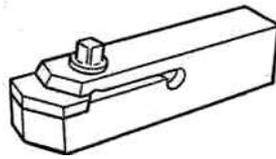


Рис. 20.7. Резец с механическим креплением пластинки

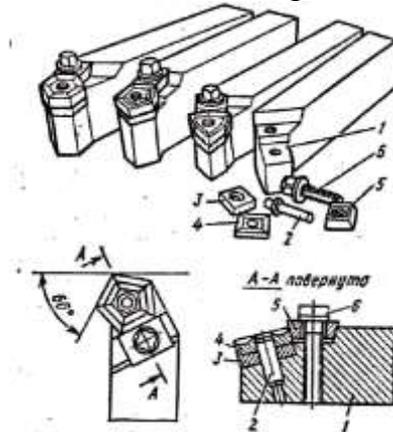


Рис. 20.8. Резцы с многокромочными неперетачиваемыми пластинками .

Резцы с неперетачиваемыми твердосплавными пластинками. На основе нового принципа конструирования инструмента—принципа неперетачиваемости — созданы новые сборные конструкции токарных резцов. Сущность устройства и работы резца с неперетачиваемой пластинкой заключается в следующем. Пластинку 4 и опорную пластинку 3 (рис. 20.8) насаживают отверстием на палец 2 и прижимают к державке 1 клином 5 и винтом 6. Многокромочные пластинки не перетачивают, а после износа одной режущей кромки ее поворачивают, и в работу вступает следующая неизношенная кромка и т. д. После износа всех кромок пластинку сдают в инструментальную кладовую.

Разработаны и применяют для обработки стали и чугуна трех-, четырех-, пяти- и шестигранные твердосплавные пластинки (ГОСТ 19020.21—73, ГОСТ 19086—73). Конструкции резцов позволяют использовать эти пластинки для углов φ , равных 45, 60, 75 и 90°. На рис. 28 изображены пластинки,

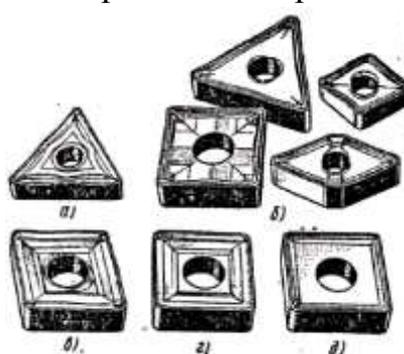


Рис. 20.9 . Области применения пластинок с ярко выраженной положительной геометрией: а—двусторонняя пластинка для чистовых к

финишных операция, б — пластинка для чистовой и получистовой обработки, в — пластинка для черновой обработки, г — для черновой и получистой обработки, д — для тяжелых операций по обработке нержавеющей, кислотостойких и жаропрочных сталей, а также материалов с низким содержанием углерода

имеющие выкружки вдоль всех режущих кромок, полученных при их изготовлении (при прессовании), и плоские без выкружек. Выкружки обеспечивают положительное значение переднего угла при резании, удовлетворительное завивание и удачный отвод стружки. Плоские пластинки, без выкружек, с отрицательными значениями переднего угла используют в крупносерийном и массовом производстве при работе на автоматах и полуавтоматах. Плоские пластинки позволяют после износа режущих кромок на одной стороне переворачивать пластинку и получать дополнительные режущие кромки.

Задний уголок для плоских пластинок получается за счет их установки в державке под углом $\gamma_{уст}$ (7—8°) к основной плоскости резца. Длительное время область применения твердосплавных пластинок была недостаточно широка из-за того, что с повышением износостойкости, как правило, снижалась прочность пластинок. Появление новых технологических процессов в изготовлении инструментов позволило устранить этот недостаток. Стало возможным на прочную твердосплавную основу пластинки наносить слой износостойкого карбида (титана) и получать прочные износостойкие пластинки без ухудшения их прочностных качеств. Однослойное покрытие было первым этапом в улучшении твердосплавных пластин.

В последнее время появилось новое поколение твердых сплавов с двухслойным покрытием, увеличивающим износостойкость пластинок на 50 % по сравнению с пластинками с однослойным покрытием.

На рис. 20.10 показан разрез пластинки с двухслойным покрытием. На слой

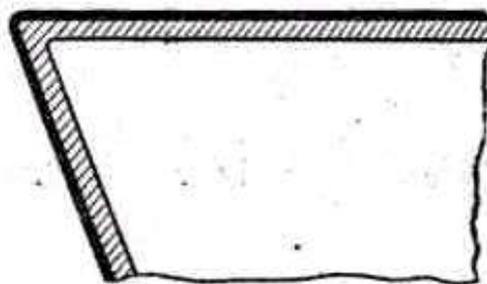


Рис. 20.10. Пластинка с двухслойным покрытием

карбида (титана) толщиной около 0,005 мм (штриховая линия) наносится керамический слой окиси алюминия толщиной около 0,001 мм (черная линия). Этот дополнительный слой окиси алюминия в 1 мкм значительно повышает износостойкость, уменьшает трение между пластинкой и поверхностью

стружки и снижает температуру в зоне режущей кромки. Пластинки с двухслойным покрытием можно применять для токарной обработки как стали, так и чугуна. На рис. 28 показан набор твердосплавных пластинок с двойным покрытием «Коромант». Компактность, надежность в работе, удобство обслуживания, простота конструкции резцов с неперетачиваемыми пластинками, долговечность, простота их восстановления в случае повреждений при разрушении пластинок, удовлетворительный отвод стружки, экономия в расходах на инструмент делают резцы приемлемыми для широкого внедрения, особенно при полустовой и чистовой обработке.

На основе принципа конструирования (неперетачиваемость) созданы не только токарные резцы, но и торцовые фрезы, зенкеры, сверла, расточной инструмент и др.

Резец с автоматической сменой неперетачиваемых пластинок. Автоматическая установка детали, контроль, проверка детали, смена инструмента, контроль инструмента в автоматических линиях, агрегатных и специальных станках стали теперь действительностью и экономической необходимостью на наших передовых заводах.

Смена инструмента на современных автоматических линиях до определенной степени выполняется автоматически, смена же изношенной режущей части поворотной пластинки является ручной операцией. Попыткой автоматизировать этот процесс является конструкция резца шведской фирмы «Сандвик Коромант» (рис. 20.11).



Рис. 20.11. Резец с автоматической сменой пластинок

Через вспомогательное устройство державка соединена с электронной, гидравлической и пневматической аппаратурой. Операция поворота пластинки осуществляется запирающим механизмом внутри , инструмента. В качестве режущей части используют пластинки с положительной геометрией и хорошим стружкоотводом. Угол резца при вершине равен 55° , а главный угол в плане — 90° .

Потери времени на снятие и установку инструмента практически устранены. По импульсному сигналу управления станком устройство удаляет изношенную пластинку и точно устанавливает новую. Державка имеет магазин на 10 пластинок и сменяет их в несколько секунд.

Выполнение операций точения на агрегатных станках

Операции точения широко применяются при обработке на агрегатных станках и автоматических линиях при растачивании и подрезании торцов.

Отверстия 6—12-го качества растачивают в основном однолезвийным инструментом с направлением борштанги по кондукторным втулкам (рис.

20.12,б) или без них (рис. 20.12, а).

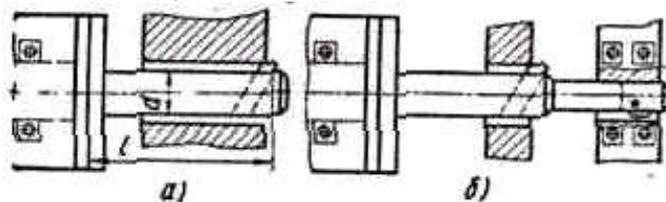


Рис. 20.12. Схемы растачивания жестким шпинделем

При использовании одношпиндельных расточных бабок достигается точность координат обработанных отверстий $\pm 0,025$ мм и параллельность их осей до 0,03 мм на длине 300 мм, тогда как при применении многошпиндельных расточных бабок точность координат обработанных отверстий достигает не выше $\pm 0,06$ мм при параллельности их осей до 0,1 мм на длине 300 мм.

Во многих деталях наряду с растачиванием отверстий необходимо подрезать наружные и внутренние торцы, прорезать канавки и т. д. На рис. 32 показана схема подрезания узкого наружного торца и растачивания отверстия в детали с применением борштанги 3 жестко закрепленной на шпинделе 2 одношпиндельной расточной бабки 1 расточными резцами 4 и 5.

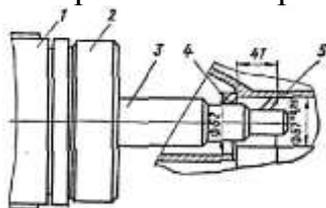


Рис. 20.13. Схема растачивания отверстия и подрезание торца жестким шпинделем

. Фрезерование

Сущность процесса фрезерования. Фрезерование — процесс резания металла, осуществляемый вращающимся режущим инструментом при одновременной линейной подаче заготовки. Материал с заготовки снимают на определенную глубину фрезой, работающей либо торцовой стороной, либо периферией. Главным движением при фрезеровании является вращение фрезы v (рис. 20.14). Скорость главного движения определяет скорость вращения фрезы. Движением подачи s при фрезеровании является поступательное перемещение обрабатываемой заготовки в продольном,

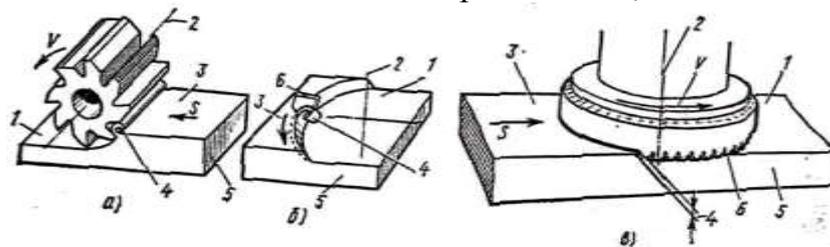


Рис. 20.14. Схемы фрезерования:

а — цилиндрическое, б и в — торцовое фрезерование; 1 — обработанная поверхность, 2 — ось вращения фрезы, 3 — обрабатываемая поверхность, 4 — стружка, 5 — заготовка, 6 — нож фрезы.

поперечном или вертикальном направлениях. Процесс фрезерования является прерывистым процессом. Каждый зуб фрезы снимает стружку переменной толщины. Операции фрезерования могут быть подразделены на два типа: а) цилиндрическое фрезерование (рис. 20.14, а); б) торцовое фрезерование (рис. 20.14, б и в).

При цилиндрическом фрезеровании резание осуществляется зубьями, расположенными на периферии фрезы, и обработанная поверхность 1 является плоскостью, параллельной оси вращения фрезы 2.

На рис. 20.15, а показана фреза с прямым зубом. Наряду с прямозубыми применяются фрезы с винтовыми зубьями (рис. 20.15).

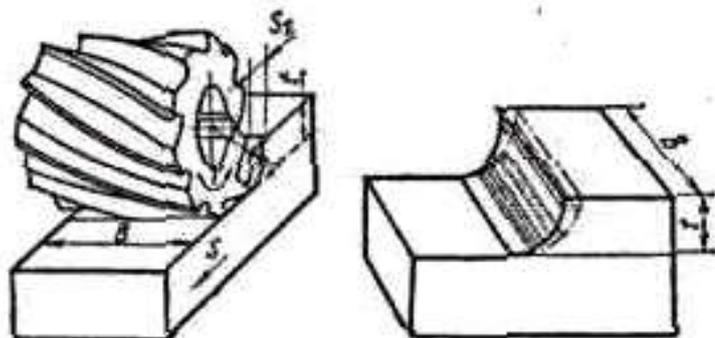


Рис. 20.15. Фрезерование цилиндрической винтовой фрезой: B — ширина фрезерования, t — глубина фрезерования, s — наибольшая толщина среза

При торцовом фрезеровании резание осуществляется периферийными и торцовыми режущими кромками зубьев. Толщина среза увеличивается к центру среза и уменьшается в месте выхода фрезы из контакта с заготовкой. Начальная и конечная толщина среза зависит от отношения ширины заготовки к диаметру фрезы. Изменение толщины среза зависит также от симметричности расположения фрезы относительно заготовки. Большинство других процессов фрезерования являются комбинацией цилиндрического и торцового методов фрезерования.

Особенности стружкообразования при фрезеровании. Процесс образования стружки при фрезеровании сопровождается теми же явлениями, что и при точении. Это деформации, теплообразование, образование нароста, вибрации, износ инструмента и др. Но при фрезеровании имеются свои особенности. Резец при точении находится под постоянным действием стружки вдоль всей длины обработки. При фрезеровании зуб за один оборот фрезы находится под действием стружки незначительное время. Большую часть оборота зуб не участвует в резании, за время он охлаждается, что положительно отражается на его стойкости. Вход зуба в контакт с обрабатываемой заготовкой

сопровождается ударом о его режущую кромку; ударная нагрузка снижает стойкость зуб; фрезы.

Фрезерование против подачи и по подаче. При фрезеровании цилиндрическими и дисковыми фрезами различают встречное фрезерование — против подачи и попутное—фрезерование по подаче. Когда окружная скорость фрезы противоположна направлению подачи (рис. 20.16,а), процесс

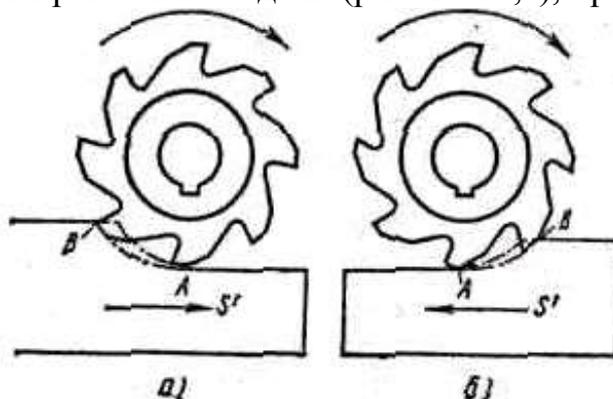


Рис. 20.16. Фрезерование против подачи (а) и по подаче (б)

фрезерования называется встречным. Толщина среза изменяется от нуля (в точке A) до максимальной величины при выходе зуба из контакта с заготовкой (в точке B). Когда направление окружной скорости фрезы и скорости подачи совпадают (рис. 20.16б), процесс фрезерования называется «попутным» фрезерованием. При этом способе фрезерования толщина среза изменяется от максимального значения в точке B в начале входа зуба в контакт с заготовкой до нуля в точке A (при выходе зуба из контакта с заготовкой).

Встречное фрезерование характеризуется тем, что нагрузка на зуб увеличивается постепенно, так как толщина среза изменяется от нуля при входе до максимума при выходе зуба из заготовки. Зуб фрезы работает из-под корки, выламывая корку снизу, фреза «отрывает» заготовку от стола, приподнимая вместе с ней и стол станка, увеличивая зазоры между направляющими стола и станины, что при значительных нагрузках приводит к дрожанию и увеличению шероховатости обработанной поверхности.

При попутном фрезеровании заготовка прижимается к столу, выбирая имеющиеся зазоры в направляющих стола и станины. Зуб фрезы начинает работать с наибольшей толщиной и сразу подвергается максимальной нагрузке.

Устройство фрез и их назначение

Фреза — многозубый инструмент, представляющий собой тело вращения, на образующей поверхности которого, а иногда на торце расположены режущие зубья. На рис. 38 показаны основные типы фрез и поверхности, которые ими обрабатывают.

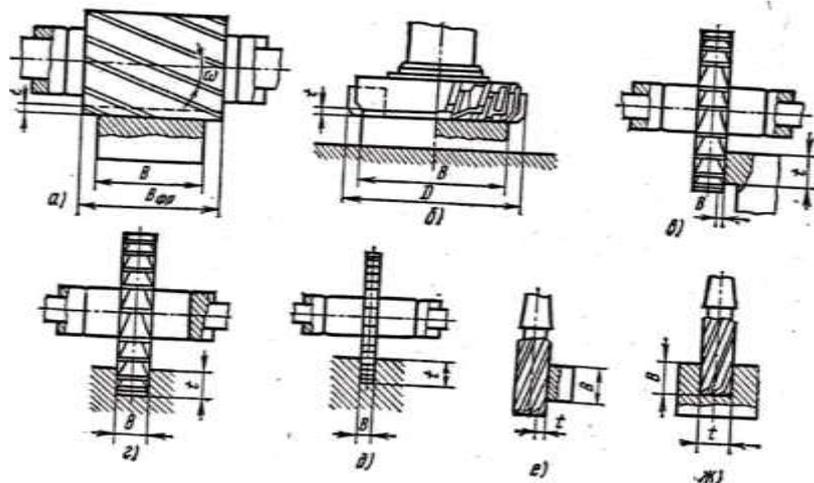


Рис. 20.17. Типы фрез и виды фрезерования:

a — цилиндрические, *б* — торцовые, *виг*— дисковые, *д* — прорезные и отрезные, *з* и *ж* - концевые

Фрезы с неперетачиваемыми твердосплавными пластинками. В последнее время все большее распространение

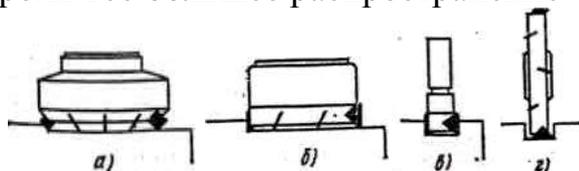


Рис. 20.18 Набор фрез с неперетачиваемыми пластинками

получают фрезы с неперетачиваемыми поворотными пластинками, обеспечивающие большой съем металла в единицу времени, быстроту и простоту обращения с инструментом, требуемое качество обработанной поверхности и надежность в работе благодаря прочной режущей кромке.

На рис. 20.18 показан набор фрез с неперетачиваемыми пластинками: *a*— торцовая, *б* — цилиндрическая, *в* — концевая и *г*—дисковая, которые позволяют решать связанные с фрезерованием задачи любого типа. Для обеспечения требуемой осевой размерной точности используется установка пластинок в корпусе фрезы по трем точкам (рис. 20.19). Способ установки пластинок

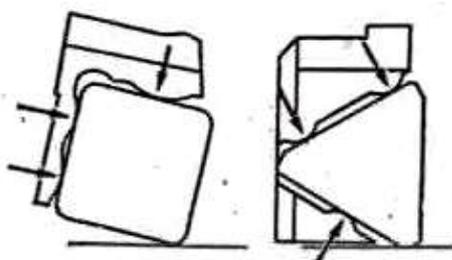


Рис. 20.19. Метод установки твердосплавных пластинок на три точки по трем точкам позволяет добиться геометрически однозначной установки пластинки во фрезе.

Форма и элементы зуба. Фрезы делаются с остроконечными (рис. 20.20. а) или затылованными зубьями (рис. 20.20,б). Известны три типа остроконечных зубьев: трапецевидальная форма (рис. 20.21,а), параболическая (рис. 20.21, б) и с двойной спинкой (рис. 20.21, в). Зуб трапецевидальной формы определяется углом η .



Рис. 20.20. Типы фрез

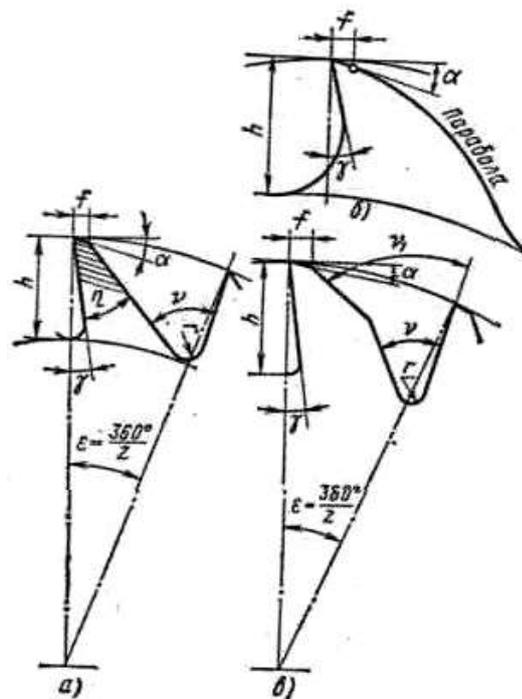


Рис. 20.21. Типы остроконечных фрез

Зубья трапецевидальной формы просты в изготовлении, но несколько ослаблены. Параболическая форма обладает равнопрочностью всех сечений пути на изгиб. Остроконечные зубья обладают стойкостью в 1,5—3 раза выше стойкости фрез с затылованными зубьями, простотой в изготовлении, обеспечивают низкую шероховатость обработанной поверхности детали. Остроконечная форма используется в основном для фрез общего назначения.

Элементы режима резания. Скорость резания при фрезеровании—это длина пути (в М), которую проходит за одну минуту наиболее удаленная от оси вращения точка главной режущей кромки.

Скорость резания (в м/мин или м/с) может быть выражена формулой

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ или } v = \frac{\pi D n}{1000 \cdot 60}$$

При фрезеровании различают подачи: на зуб, на оборот и минутную подачу.

Подачей на зуб (s_z мм/зуб) называется величина перемещения заготовки или фрезы за время поворота фрезы на один шаг, т. е. на угол между двумя соседними зубьями.

Подачей на оборот (s_0 , мм/об) называется величина перемещения детали (или фрезы) за время одного полного оборота фрезы. Подача за один оборот равняется подаче на зуб, умноженной на число зубьев фрезы:

$$s_0 = s_z z$$

где z — число зубьев фрезы.

Минутной подачей (s_m , мм/мин) называется величина перемещения детали (или фрезы) в процессе резания за одну минуту. Минутная подача измеряется в мм/мин:

$$s_m = s_0 n \text{ или } s_m = s_z z n$$

Зная минутную подачу, можно подсчитать время, необходимое для фрезерования детали. Для этого достаточно разделить длину обработки (т. е. путь, который должна пройти заготовка по отношению к фрезе) на минутную подачу. Таким образом, по величине минутной подачи удобно судить о производительности.

Глубиной фрезерования (t) называется расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями (см. рис. 34,38).

Шириной фрезерования (B) называется ширина обработанной за один рабочий ход поверхности.

На рис. 38 показаны примеры обозначений глубины и ширины в зависимости от вида работ.

Сверление, зенкерование и развертывание

Сверление

Сущность процесса сверления.

Сверление представляет собой процесс удаления металла для получения отверстий. Процесс сверления включает два движения: вращение инструмента V (рис. 48) или детали вокруг оси и подачу S вдоль оси. Режущие кромки сверла срезают тонкие слои металла с неподвижно укрепленной детали, образуя стружку, которая, скользя по спиральным канавкам сверла, выходит из обрабатываемого отверстия. Сверло является многолезвийным режущим инструментом. В резании участвуют не только два главных лезвия, но и лезвие перемычки, также два вспомогательных, находящихся на направляющих ленточках сверла, что очень усложняет процесс образования стружки. При

рассмотрении схемы образования стружки при сверлении хорошо видно, что условия работы режущей кромки сверла в разных точках лезвия различны. Так, передний угол наклона режущей кромки γ (рис. 20.22),

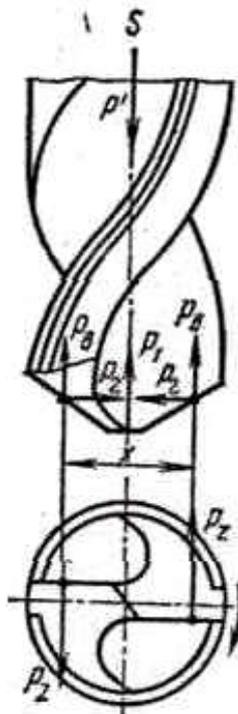


Рис. 20.22. Схема резания при сверлении. Силы, действующие на сверло

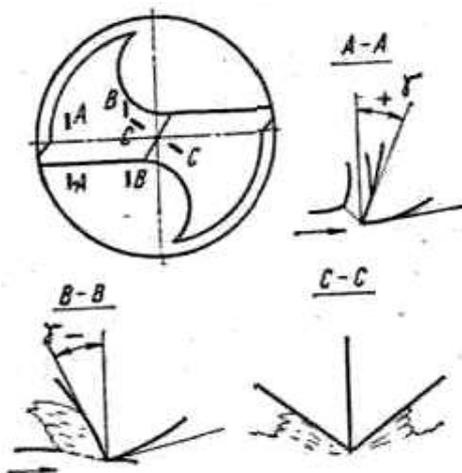


Рис. 20.23. Образование стружки при сверлении расположенный ближе к периферии сверла (сечение А—А), является положительным. Режущая кромка работает в сравнительно легких условиях.

Передний угол наклона режущей кромки, расположенный дальше от периферии, ближе к центру сверла (сечение В—В), является отрицательным. Режущая кромка работает в более тяжелых условиях, чем расположенная ближе к периферии.

Резание поперечной режущей кромкой (сечение С—С) представляет собой процесс резания, близкий к выдавливанию. При сверлении по сравнению с точением значительно хуже условия отвода стружки и подвода охлаждающей

жидкости; имеет место значительное трение стружки о поверхность канавок сверла, трение стружки и сверла об обработанную поверхность; вдоль режущей кромки возникает резкий перепад скоростей резания — от нуля до максимума, в результате чего в различных точках режущей кромки срезаемый слой деформируется и срезается с разной скоростью; вдоль режущей кромки сверла деформация различна — по мере приближения к периферии деформация уменьшается. Эти особенности резания при сверлении создают более тяжелые по сравнению с точением условия стружкообразования, увеличение тепловыделения и повышенный нагрев сверла. Если же рассматривать процесс стружкообразования на отдельных микро участках режущей кромки, то упругие и пластические деформации, тепловыделение, наростообразование, упрочнение, износ инструмента здесь возникают по тем же причинам, что и при точении. На температуру резания при сверлении скорость резания имеет большее влияние, чем подача.

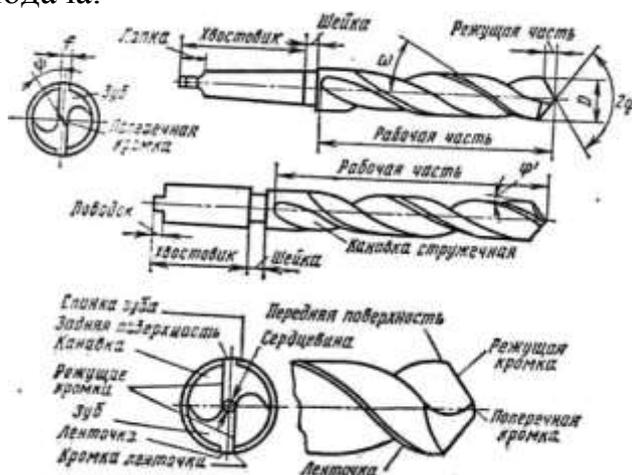


Рис.20.24. Спиральное сверло

Элементы сверла. Наиболее распространенным и имеющим универсальное назначение является спиральное сверло (рис. 50). Сверло состоит из рабочей части, конусного или цилиндрического хвостовика, служащего для закрепления сверла, а лапки, являющейся упором при удалении сверла. Рабочая часть сверла представляет собой цилиндрический стержень с двумя спиральными или винтовыми канавками, по которым удаляется стружка. Режущая часть заточена по двум коническим поверхностям, имеет переднюю и заднюю поверхности (рис. 50) и две режущие кромки, соединенные перемычкой под углом 55° . На цилиндрической части по винтовой линии проходят две узкие ленточки, центрирующие и направляющие сверло в отверстии. Ленточки значительно уменьшают трение сверла о стенки обрабатываемого отверстия. Для уменьшения трения рабочей части сверла в сторону хвостовика сделан обратный конус. Диаметр сверла уменьшается на каждые 100 мм длины на 0,03—0,1 мм.

Режущая часть сверла изготавливается из инструментальных сталей в твердых сплавах. Как и резец, сверло имеет передний и задний углы (рис.20.25). Передний угол γ (сечение $B-B$) в каждой точке режущей кромки

является величиной переменной. Наибольшее значение угол γ имеет на периферии сверла, наименьшее—у вершины сверла. Вследствие того что сверло во время работы не только вращается, но и перемещается. вдоль оси, действительное значение заднего угла α отличается от угла, полученного при заточке. Чем меньше диаметр окружности, на которой находится рассматриваемая точка режущей кромки, и чем больше подача, тем меньше действительный задний угол.

Действительный же передний угол в процессе резания соответственно будет больше угла, замеренного после заточки. Чтобы обеспечить достаточную величину заднего угла в работе

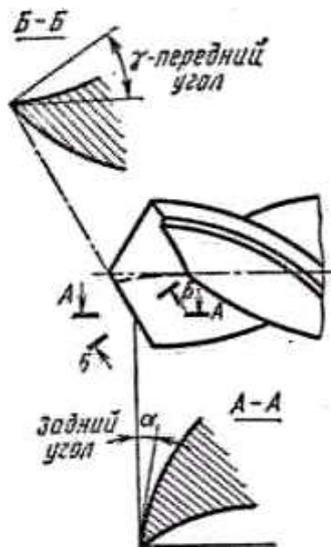


Рис. 20.25. Передний и задний углы сверла

(в точках режущей кромки, близко расположенных к оси сверла), а также угла заострения зуба вдоль оси всей длины режущей кромки, задний угол делается: на периферии 8—14°, а у середины 20—27°, задний угол на ленточках сверла равен 0°.

Кроме переднего и заднего углов сверло характеризуется углом наклона винтовой канавки ω , углом наклона поперечной кромки ψ , углом при вершине 2φ , углом обратной конусности φ' (рис. 50). $\omega=18—30^\circ$, $\psi=55^\circ$, $\varphi'=2—3^\circ$, у сверл из инструментальной стали $2\varphi=60—140^\circ$.

Виды подточек и различные формы заточки показаны на рис. 52.

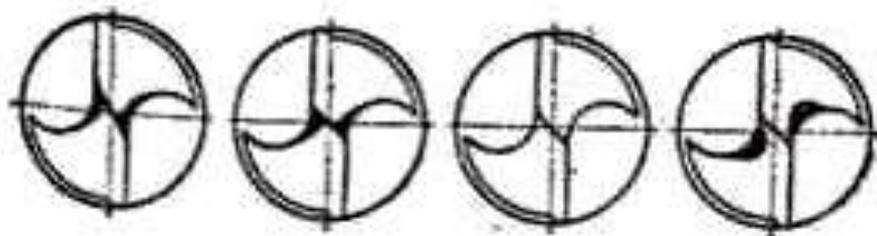


Рис. 20.26. Элементы подточки спиральных сверл

Элементы режима резания (рис.20.27). Как уже указывалось, скорость резания в различных точках режущей кромки различна и изменяется от нуля в

центре до максимальной на периферии сверла. При расчетах режимов резания принимается наибольшая скорость резания на периферии (в м/мин)

$$v = \frac{\pi D n}{1000}$$

где D —диаметр сверла, мм; n —частота вращения сверла, об/мин; π —коэффициент, равный 3,14.

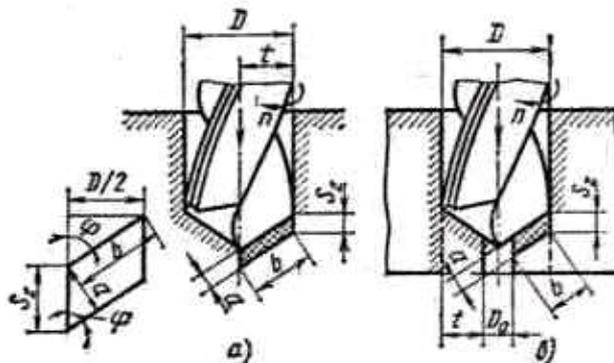


Рис. 20.27. Элементы резания: a — при сверлении, b — при рассверливании

Подачей при сверлении s (мм/об) называется величина перемещения сверла вдоль оси за один оборот сверла или за один оборот заготовки, если заготовка вращается, а сверло только перемещается. У сверла две главные режущие кромки. Подача, приходящаяся на каждую кромку,

$$s_z = \frac{s}{2}$$

Минутная подача (мм/мин)

$$s_m = sn.$$

Толщина среза a , измеренная в направлении, перпендикулярном режущей кромке:

$$a = s_z \sin \varphi = \frac{s}{2} \sin \varphi$$

Ширина среза b измеряется в направлении вдоль режущей кромки и равняется ее длине:

$$b = \frac{D}{2 \sin \varphi}$$

ЛЕКЦИЯ №21

Процесс образования стружки и типы стружек

В зависимости от условий обработки стружка может быть разных видов. При обработке пластичных материалов (конструкционные стали) образуется элементная стружка (рис. 21.1), ступенчатая и сливная, а при обработке малопластичных материалов— стружка надлома. Эта классификация стружек предложена в 1870 г. Н. А. Тиме. Ею пользуются и в настоящее время.

Элементная стружка (рис. 21, а) состоит из отдельных, пластически

деформированных элементов, слабо связанных или совсем не связанных между собой. На рис. 21.1 и 21.2 показаны схемы образования элементной стружки. Резец, установленный на глубину a , перемещается под действием силы P , передаваемой суппортом станка, и постепенно вдавливаясь в металл заготовки, сжимает его своей передней поверхностью и вызывает сначала упругие, а затем пластические деформации. Различают следующие фазы образования элемента (по И. А. Тиме). В начале резания (рис. 21.2, а) происходит соприкосновение резца с обрабатываемой заготовкой. Затем резец своей вершиной вдавливается в металл (рис. 21.2, б), который претерпевает деформацию сдвига. По мере углубления резца в срезаемом слое растут напряжения и, когда они достигнут величины предела прочности обрабатываемого металла, произойдет сдвиг (скалывание) первого элемента (1) по плоскости сдвига AB , составляющей с направленным перемещением резца угол β_1 , равный $30\text{—}40^\circ$. Угол β_1 называется углом сдвига. Внутри каждого элемента происходят межкристаллические сдвиги под углами $\beta_2 = 21.30\text{—}21.321.1^\circ$ (рис. 7).

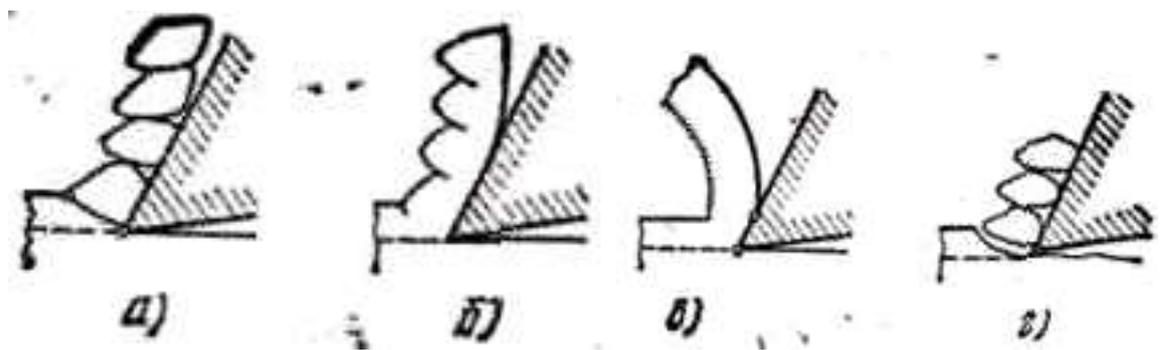


Рис. 21.1 Виды стружек, образующихся при резании

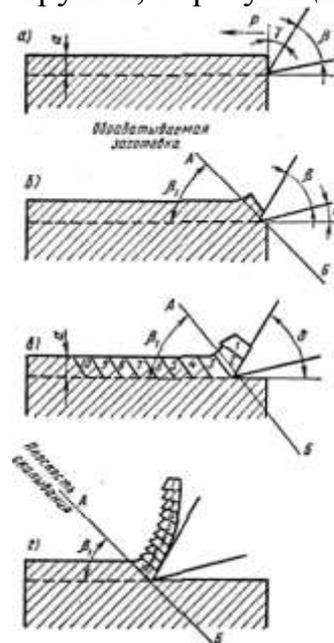


Рис. 21.2 Схема образования стружки (по И. А. Тиме)

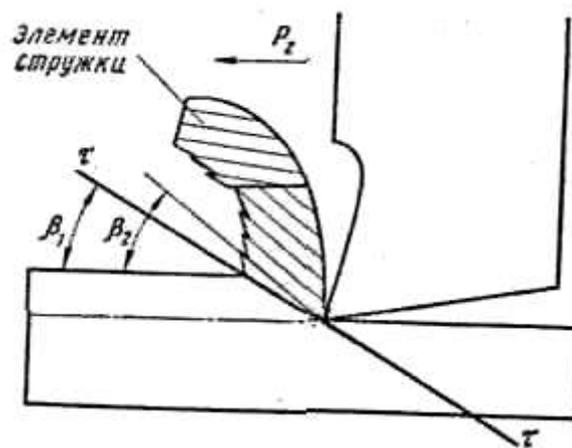


Рис. 21.3. Схема образования стружки: $\tau - \tau$ — плоскость скалывания

После скалывания первого элемента стружки резец сжимает следующий близлежащий слой металла, в результате чего образуется второй элемент (2), отделяющийся от заготовки по плоскости наибольших касательных напряжений под тем же углом β_1 и т. д. (рис. 21.3, в, г).

Цифрами 1, 2, 3, ..., 10 обозначены последовательно образуемые элементы стружки.

Ступенчатая стружка (см. рис. 21.1, б) получается при обработке сталей со средней скоростью резания. Ступенчатая стружка имеет одну сторону (со стороны резца) гладкую, а другая сторона имеет ступеньки (зазубрины) с выраженным направлением отдельных элементов, прочно между собой связанных. У ступенчатой стружки разделение ее на части не происходит.

Сливная стружка (см. рис. 21.1, в) сходит с резца в виде ленты без зазубрин, присущих ступенчатой стружке. Она получается при обработке сталей с высокой скоростью резания. Поверхность стружки, прилегающая к передней поверхности резца, сравнительно гладкая, а при высоких скоростях отполирована. Ее противоположная сторона покрыта мелкими зазубринками — насечкой и имеет бархатистый вид.

Стружка надлома (см. рис. 21.1, г) получается при обработке малопластичных металлов (твердый чугун, твердая бронза). Стружка состоит из отдельных, не связанных между собой кусочков различной формы и разных размеров. Обработанная поверхность при такой стружке получается шероховатой с впадинами и выступами.

Тип стружки во многом зависит от рода и механических свойств обрабатываемого материала. При резании пластичных материалов возможно образование элементной, ступенчатой и сливной стружки. По мере увеличения твердости и прочности обрабатываемого материала сливная стружка переходит в ступенчатую, а затем в элементную. При обработке хрупких материалов образуется или элементная, или стружка надлома.

Физические явления при стружкообразовании

Усадка стружки. При резании каждый элемент стружки сдавливается под действием силы, прилагаемой со стороны передней поверхности резца, в результате чего длина стружки всегда меньше длины участка поверхности, с которого она срезана (рис. 21.4). Это явление укорочения стружки по длине называется продольной усадкой. Величина усадки характеризуется отношением длины обработанной поверхности L_0 к длине стружки L и называется коэффициентом усадки $K = \frac{L_0}{L}$.

В зависимости от условий обработки $K = 1,1—10$. Величина K характеризует напряженность процесса резания. Чем больше K , тем больше деформирована стружка, тем больше сопротивление оказывал металл скалыванию. По коэффициенту усадки можно судить о напряженности процесса резания, делать необходимые выводы и принимать практические меры для облегчения процесса резания.

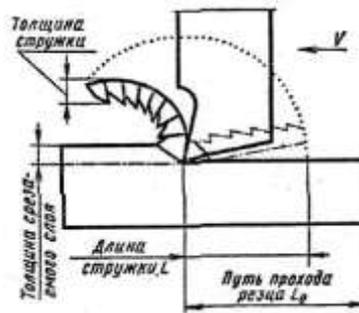


Рис. 21.4 Схема усадки стружка

ЛЕКЦИЯ №22

НАРОСТ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ. ВЛИЯНИЕ НАРОСТА НА СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ НАРОСТА.

Нарост. При резании пластичных материалов у лезвия инструмента перед его передней поверхностью образуется нарост λ (рис. 22.1). Он имеет

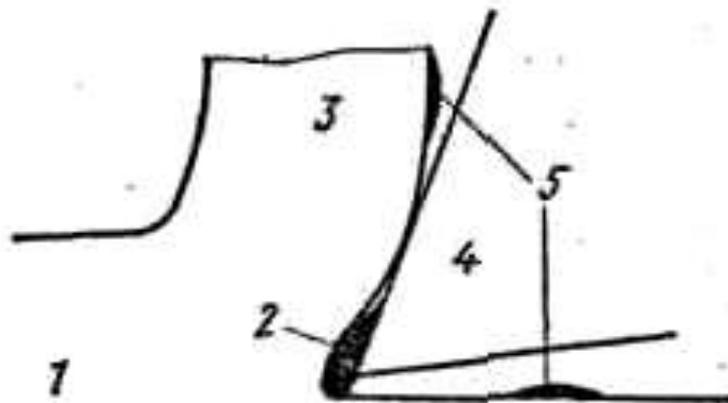


Рис. 22.1. Схема образования нароста:

1 — заготовка, 2 — нарост, 3 — стружка, 4 — резец, 5 — частицы нароста на стружке и заготовке.

клиновидную форму и представляет собой часть обрабатываемого металла, прилипшего или приваренного к резцу. Причиной возникновения нароста являются трение и притормаживание поверхностного слоя сходящей стружки о переднюю поверхность резца. Нарост обладает высокой твердостью вследствие подкаливания и наклепа. Форма и размеры его непостоянны. В сотые доли секунды нарост возникает, увеличивает свою высоту до предела, а затем частично или полностью разрушается. Одна часть разрушенного нароста 5 уносится стружкой 3, а вторая — поверхностью резания 1 (см. рис. 9). После разрушения нарост вновь возрастает, затем вновь разрушается и т. д. Отрывающиеся частички образуют лунки на обрабатываемой поверхности, а прилипшие кусочки создают шероховатость (рис. 22.2). При наростообразовании невозможно получение поверхности высокого качества (не выше параметра шероховатости $Rz20-10$). При черновой обработке нарост, воспринимая на себя нагрузку, предохраняет переднюю поверхность резца инструмента от перегрева и износа. Поэтому при черновой обработке образование нароста не вредно, а даже полезно.

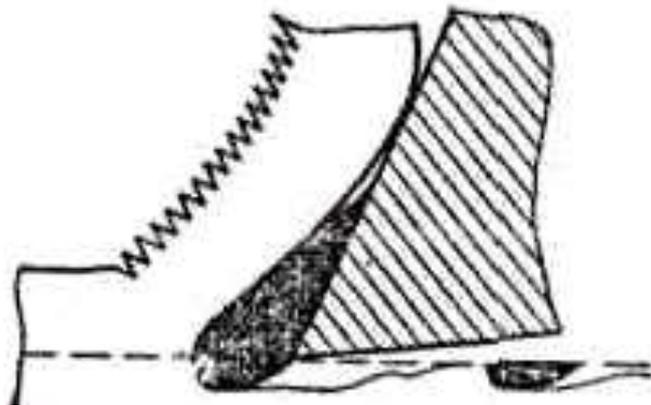


Рис. 22.2. Схема разрушения нароста

На размер нароста влияют механические свойства металла, скорость резания, подача, передний угол инструмента и род СОЖ. Такие металлы, как медь, латунь, бронза, олово, свинец, большинство типовых сплавов, легированные стали с большим содержанием хрома и никеля не склонны к наростообразованию; конструкционные углеродистые и большинство легированных сталей, серый чугун, алюминий склонны к наростообразованию.

Предотвращение наростообразования достигается следующими путями: подбором и работой на определенных скоростях резания. Наиболее интенсивно нарост образуется при скоростях $v=7-80$ м/мин. При больших скоростях резания ($v>80$ м/мин) нарост не успевает привариться к резцу, так как уносится быстро сходящей стружкой. Чистовую обработку многолезвийными инструментами из быстрорежущей стали и фасонными резцами ведут на низких скоростях резания, а твердосплавными резцами, фрезами, зенкерами — на высоких скоростях резания. При работе инструментом с отполированной передней поверхностью нарост практически не образуется. Наростообразование

уменьшается при правильном подборе и применении СОЖ. При наладке станков для получения поверхности нужного параметра шероховатости наладчик всегда должен помнить и знать о влиянии нароста на качество обработки.

Упрочнение. При резании в результате пластической деформации срезаемого слоя и слоя основной массы металла обработанная поверхность всегда имеет более высокую твердость. Глубина упрочненного слоя достигает 1—2 мм. Степень повышения твердости и глубина слоя упрочнения зависят от механических свойств металла, угла резания, радиуса закругления режущей кромки инструмента, величины подачи, скорости резания и свойств применяемой СОЖ. Чем мягче и пластичнее металл, тем большему упрочнению он подвергается. Чугуны меньше поддаются упрочнению, чем стали. Чем больше угол резания, радиус закругления режущей кромки и толщина среза, тем степень упрочнения выше. Применение СРЖ уменьшает глубину упрочненного слоя и твердость. Упрочнение снимается отжигом и нормализацией.

Элементы режима резания

К элементам режима резания относятся: скорость резания, подача и глубина резания. Скоростью резания называется величина перемещения наиболее удаленной точки режущей кромки относительно поверхности резания в единицу времени (минуту). Скорость резания в разных точках режущей кромки неодинакова. Однако в расчетах при определении скорости резания принимается ее наибольшее значение. Скорость резания зависит от быстроты вращения и диаметра обрабатываемой заготовки. Чем больше диаметр заготовки D (рис. 22.3), тем больше скорость резания при одних и тех же оборотах заготовки n .

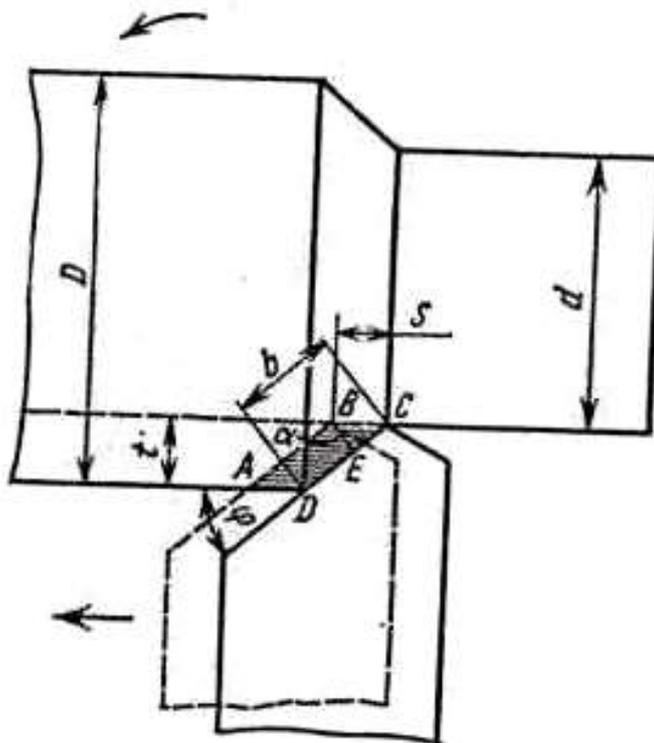


Рис. 22.3. Элементы срезаемого слоя при точении

Скорость резания (мм/мин) определяется по формуле

$$v = \frac{\pi D n}{1000 \cdot 60}$$

где D — наибольший диаметр поверхности резания, мм; n — частота вращения заготовки, об/мин; π — постоянное число, равное 3,14.

При продольном точении скорость резания постоянна. При подрезании торца скорость резания имеет наибольшее значение у наружной поверхности и равна нулю в центре заготовки. При растачивании скорость резания принимается также по наибольшему диаметру поверхности резания — по диаметру обработанной поверхности.

Величина перемещения режущей кромки относительно обрабатываемой поверхности в единицу времени в направлении движения подачи называется скоростью подачи или просто подачей. Различают подачи — минутную и за один оборот заготовки. Величина относительного перемещения инструмента по отношению к заготовке за одну минуту называется минутной подачей. Величина перемещения резца инструмента за один оборот заготовки называется , подачей за один оборот заготовки. Между минутной подачей и подачей за один оборот заготовки (в мм/об) существует зависимость

$$s = \frac{s_m}{n}$$

где s — подача за один оборот, мм./об; s_m — минутная подача, мм/мин; n — частота вращения заготовки, об/мин.

Глубиной резания τ называется размер срезаемого слоя за один рабочий ход резца (инструмента), измеренный перпендикулярно направлению движения подачи (рис. 22.3). Глубина резания (мм) определяется по формуле

$$\tau = \frac{D - d}{2}$$

При наружном продольном точении, при растачивании глубина резания определяется как полуразность между диаметром отверстия после обработки и диаметром отверстия до обработки. При подрезании за глубину резания принимается величина срезаемого слоя, измеренная в направлении, перпендикулярном обработанному торцу.

При отрезании и прорезании глубина резания равняется ширине канавки, образуемой отрезным или прорезным резцом.

Элементы срезаемого слоя

Элементами срезаемого слоя являются ширина, толщина и площадь поперечного сечения среза. Если рассечь слой металла, срезаемого с поверхности резания за один оборот, плоскостью, проходящей через ось детали, в сечении получим параллелограмм с основанием s , высотой t и сторонами AB и DC , наклоненными к оси детали под углом φ (рис. 22.3). Полученный параллелограмм называется площадью сечения срезаемого слоя, а его стороны

(размеры) t и s —технологическими размерами срезаемого слоя.

Размер a — расстояние между двумя последовательными положениями 1 и 2 главной режущей кромки резца за один оборот детали называется толщиной среза.

Размер b — длина контакта режущей кромки резца с обрабатываемой заготовкой называется шириной среза.

Физические и технологические размеры срезаемого слоя связаны между собой следующими соотношениями (рис. 22.3):

$$a = s \sin \varphi; \quad b = \frac{t}{\sin \varphi}$$

Площадь поперечного сечения среза (мм^2)

$$F = ab = st.$$

ЛЕКЦИЯ №23

ВИБРАЦИЯ И ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ, КОТОРЫЕ ПРОИСХОДЯТ И ИХ ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ. АВТОКОЛЕБАНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ.

Вибрации

Важной проблемой обработки резанием, имеющей большое практическое значение, является вибрация технологической системы станка (СПИД). Вибрация влияет на качество обработанной поверхности, увеличивает интенсивность износа инструмента и является причиной возникновения звуков высокой частоты.

Механизм вибрации при резании. Виды вибраций. Металлорежущий станок, режущий инструмент и обрабатываемая деталь — это система, имеющая большое число степеней свободы. Станок можно представить схематически в виде системы с большим количеством пружин 1, 2, ..., 9 (рис. 23.1), каждая из которых обладает определенной жесткостью, демпфирующими (гасящими) свойствами и собственными частотами колебаний.

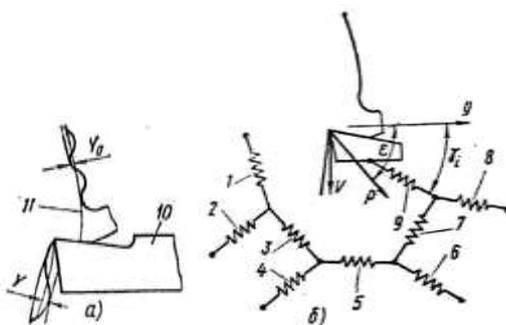


Рис. 23.1. Схема вибраций станка: а — изменение толщины среза, б — модель упругой системы станка

Пружины 1, 2, 3, ..., 9 уравнивают силу резания, возникающую между резцом 10 и заготовкой 11. Импульс силы, вызывающей вибрацию, вызывает колебательные движения пружин и исключительное перемещение резца 10 и

заготовки 11. Направление перемещения этого движения будет зависеть от вибрирующих элементов (пружин) данной системы.

При обработке точением в динамических условиях возможны следующие разновидности вибраций: вибрации державки резца, вибрации резцедержателя или суппорта, вибрации заготовки между центрами, крутильные колебания заготовки и шпинделя, вибрации центров и пиноли, передней или задней бабки, вибрации станины. Вибрации могут происходить в вертикальной и горизонтальной плоскостях, параллельно или перпендикулярно направлению подачи. Таким образом, заготовка или резец могут перемещаться относительно друг друга в любом направлении.

Возникновение вибраций в установившемся режиме резания может вызвать различные отклонения: скорости резания (колебания скорости резания), подачи, глубины срезаемого слоя, изменение положения режущей грани резца к поверхности заготовки (т. е. изменение переднего и заднего углов и углов наклона режущей кромки). Из теории резания известно, что любое из этих отклонений может изменить силы, действующие на вершину резца. В зависимости от направления и фазы отклонений (совпадающие или не совпадающие по времени с другими колебаниями) эти силы могут гасить возникшие колебания или возбуждать вибрации.

Обычно система, выведенная импульсом силы из равновесия, вибрирует с затуханием. Такой вид колебаний, обычно не достигающих резонансной частоты технологической системы станка, называется вынужденными колебаниями. Однако если изменение сил резания значительно и не поддается гасящему (демпфирующему) эффекту системы, они могут вызвать рост амплитуды колебаний: устанавливается равновесие возбуждающих и гасящих сил системы, вибрации не затухают — этот вид самовозбуждаемых вибраций называется автоколебаниями. Особенностью самовозбуждаемых вибраций является то, что их частота совпадает с одной из собственных частот технологической системы станка.

Вынужденные колебания возникают из-за периодичности действия возмущающей силы. Причинами их появления могут быть удары, прерывистый характер процесса резания, дисбаланс вращающихся частей технологической системы станка, дефекты в механизмах станка, неравномерность припуска на обработку, передача вибраций станку от других машин, молотов, прессов, работающих поблизости. Устранение вынужденных колебаний не является большой трудностью. Найти источник вибраций, как правило, нетрудно. После его устранения вибрации прекращаются.

Автоколебание — явление более сложное и часто возникающее при резании металлов. Самовозбуждаемые вибрации (автоколебания) возникают при отсутствии видимых внешних причин. Причины автоколебаний кроются в самом процессе резания. Они создают переменную силу и поддерживают автоколебательный процесс. Основными причинами появления автоколебаний являются непостоянство нароста, приводящее к изменению в процессе резания угла резания и площади поперечного сечения среза, непостоянство силы трения

сходящей стружки о резец и резца о заготовку, неравномерное упрочнение срезаемого слоя по его толщине.

Исследования, проведенные А. И. Кашириным, А. П. Соколовским, Л. К. Кучмой и другими, показали, что частота колебаний не зависит ни от режима резания, ни от геометрии инструмента, а определяется жесткостью и массой технологической системы станка, возрастая при увеличении жесткости и уменьшении массы. В то же время амплитуда колебаний в отличие от частоты зависит не только от массы и жесткости колебательной системы, но и от рода обрабатываемого материала, геометрических параметров инструмента и режима резания. Постоянство частоты и переменность амплитуды колебаний при изменении условий резания свидетельствует об автоколебательной природе колебаний.

Факторы, влияющие на вибрации

Влияние жесткости технологической системы станка. Как уже указывалось, частота колебаний не зависит ни от режима резания, ни от геометрии инструмента, а определяется жесткостью и массой системы станка. Чем выше жесткость системы, тем меньше условий для возникновения вибраций. Если меньше вылет резца, шпинделя с патроном, пиноли задней бабки, то жестче система, реже вибрации и, наоборот, чем больше вылет резца или пиноли задней бабки и шпинделя, тем больше возможностей появления и увеличения вибраций. Так, добавление наружных опор в виде люнетов, подвижных и неподвижных, при обточке длинных прутков (валиков) значительно увеличивает жесткость системы — вибрации прекращаются. Для устранения вибраций при растачивании в конструкциях расточных скалок применяются демпферы различных форм и типов.

Для уменьшения вибраций точного оборудования применяются амортизаторы или виброизолирующие фундаменты. Это особенно необходимо, если около точного оборудования работает кузнечное или прессовое.

Влияние механических свойств на вибрацию. При обработке вязких сталей вибрации больше, при обработке чугунов — меньше. При увеличении твердости и прочности обрабатываемого материала вибрации уменьшаются, при возрастании относительного удлинения и относительного сужения — увеличиваются.

Влияние режима резания. Скорость и глубина резания влияют на вибрации больше, чем подача. При увеличении скорости (до определенной величины) вибрации возрастают, а затем уменьшаются. При увеличении глубины резания вибрации (при продольном точении) растут.

Влияние геометрии резца. Чем меньше главный угол в плане φ , тем интенсивнее вибрация за счет увеличения радиальной отжимающей силы P_y . Аналогичное влияние, но в меньшей степени оказывает и вспомогательный угол в плане φ_1 : чем меньше угол φ_1 , тем больше вибрации. Амплитуда колебаний возрастает при увеличении радиуса закругления при вершине резца в плане.

Вибрации зависят от формы передней поверхности резца. Так, дополнительно заточенная лунка R на передней поверхности резца (рис. 23.2) по сравнению с резцами, не имеющими такой лунки, уменьшает вибрации. Это явление, а также заточка отрицательной фаски Φ (0,1—0,3 мм) вдоль главной режущей кромки (рис. 23.2) используются для уменьшения вибраций.

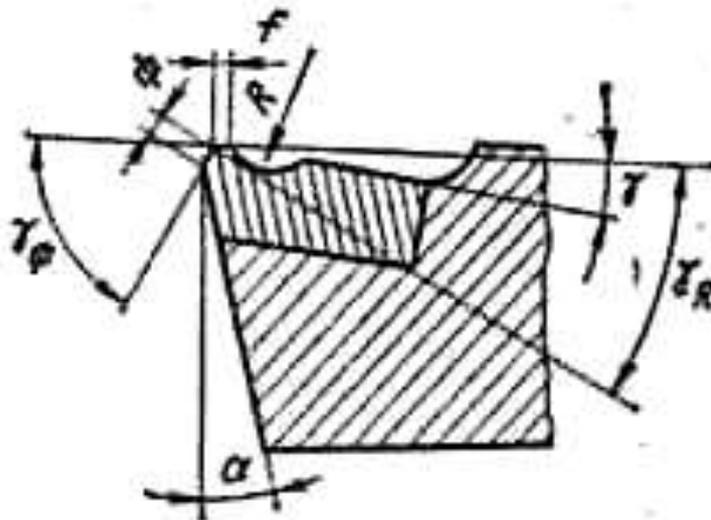


Рис. 23.2 Резец с виброгасящей фаской и лункой

Определение причин вибрации. Определение причин вибрации производится в определенной последовательности. Сначала проверяется жесткость технологической системы станка. Проверяется отсутствие люфтов в направляющих, регулируется натяжение клиньев, прижимных планок, проверяется надежность крепления изделия, инструмента, величины вылетов инструмента, патрона, шпинделя. Если проверка замеченных неисправностей и последующая регулировка не дали результата, проводится дальнейший поиск возможных причин. Проверяется вибрация электродвигателя привода, пульсация гидропривода, при шлифовании — биение шлифовального круга и др.

При определении источника вынужденных колебаний детали и узлы (предполагаемые виновники) последовательно исключаются из системы. Различные диагностические приборы и устройства облегчают нахождение причин вибраций и их устранение.

Выбор режима резания

Под режимом резания подразумевается совокупность глубины резания, подачи, скорости резания и стойкости инструмента.

Элементы режима резания устанавливаются в такой последовательности: сначала определяется максимально возможная глубина резания (допустимая технологией обработки); по выбранной глубине определяется максимальная величина подачи (допустимая технологией обработки); по выбранной глубине и

подаче, задавшись определенным периодом стойкости инструмента, находят допустимую скорость резания. Затем производится проверка выбранных элементов режима резания. Подачу контролируют по прочности механизмов станка, скорость — по соответствию мощности резания и мощности станка.

Глубина резания определяется в основном припуском, оставленным на обработку. Если нет ограничений по точности и шероховатости обработки, то весь припуск срезают за один рабочий ход. Если технические условия не позволяют производить обработку за один рабочий ход, припуск разбивают на черновые и чистовые рабочие ходы. Черновые рабочие ходы выполняют с максимальной глубиной резания, а на чистовые оставляют минимальный припуск, обеспечивающий изготовление детали с заданной шероховатостью и допуском.

Подача. Для повышения производительности труда целесообразно работать с максимально возможной подачей. Величина подачи, как правило, ограничивается крутящим моментом станка, прочностью слабого звена механизма подачи, жесткостью обрабатываемой детали, прочностью инструмента и требованиями шероховатости обрабатываемой поверхности. Величины подач на практике обычно берутся из справочников.

Скорость резания. После определения глубины резания и подачи определяется скорость резания.

Частота вращения шпинделя n (в об/мин) станка определяется по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi D}$$

Расчетная частота вращения корректируется с учетом действительной частоты вращения станка. По действительной частоте вращения подсчитывается действительная скорость резания. Действительная частота вращения станка не должна отличаться от расчетной более чем на 5 %.

Проверка выбранных элементов режима резания

Проверка скорости. Проверка скорости производится по мощности станка. Может оказаться, что мощности данного станка будет недостаточно для того, чтобы вести обработку с выбранными основными элементами режима резания. Расчетная мощность электродвигателя станка $N_{рез}$ должна быть меньше или, по крайней мере, равна мощности электродвигателя станка $N_{см}$, т. е. $N_{рез} \leq N_{см}$.

Если окажется, что мощности станка не хватает, то принятую скорость необходимо уменьшить.

Проверка подачи. При черновой обработке назначенная подача обязательно проверяется по прочности деталей механизма подачи станка. Определяется осевая составляющая силы резания P_x при принятой подаче. Она должна быть меньше или, по крайней мере, равна наибольшей силе, допускаемой прочностью механизма станка $P_{см}$, которая указывается в паспорте станка завода-изготовителя, т. е. $P_x \leq P_{см}$. В случае если $P_x \geq P_{см}$, необходимо подачу уменьшить.

ЛЕКЦИЯ №24

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ. ФАКТОРЫ, КОТОРЫЕ ВЛИЯЮТ НА ТЕМПЕРАТУРУ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ. ПРЯМЫЕ И КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОТЫ.

Образование и распределение тепла при резании металлов. Температура резания

В процессе резания металлов механическая энергия, затрачиваемая на работу резания, переходит в тепловую. В зоне резания возникает тепло за счет работы, затрачиваемой на пластические деформации Q_d (рис. 24.1) и преодоление трения по передней $Q_{т.п}$ и задней поверхностям резца $Q_{т.з}$. Нагреваются заготовка, режущий инструмент и стружка. При значительной скорости температура в зоне резания достигает значительных величин. При работе на высоких скоростях при точении и фрезеровании можно наблюдать сходящую из-под резца или фрезы ярко-красную стружку, нагретую до $900\text{ }^\circ\text{C}$. На обработанной поверхности стальной детали появляются цвета побежалости, свидетельствующие о высокой температуре поверхностного слоя детали во время соприкосновения ее с задней поверхностью инструмента. Полученное тепло при точении распределяется следующим образом: уходит в стружку 50—80 % ($Q_{дс}+Q_{тп}$); в резец 40—10 % ($Q_{п}+Q_{з}$), в обрабатываемую деталь 9—3% ($Q_{тз}+Q_{д}$) и в окружающую среду около 1 %. При затуплении инструмента характер распределения тепла изменяется: резец и заготовка нагреваются в большей степени. Как в стружке, так в резце и в заготовке тепло распределяется неравномерно. В слоях стружки, ближе расположенных к передней поверхности резца, температура выше, чем в слоях, удаленных от нее (рис. 24.2).

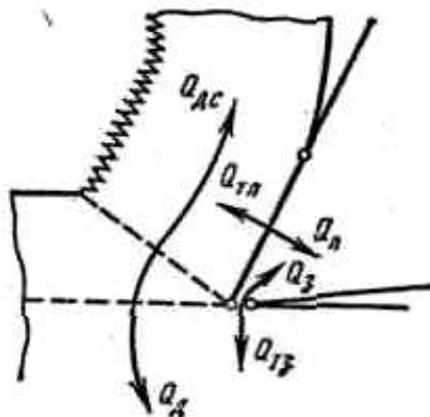


Рис. 24.1. Распределение тепла (при резании) между стружкой, инструментом и заготовкой

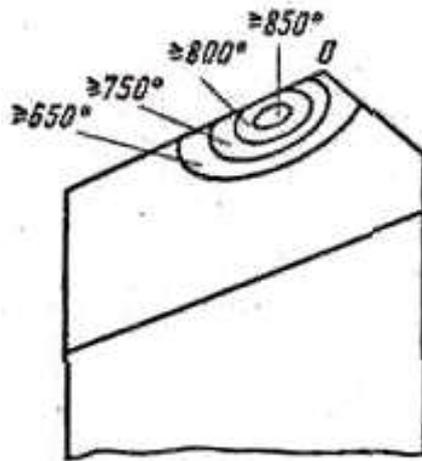


Рис. 24.2. Распределение температур на передней поверхности резца (по Б. И. Костецкому)

Температура обрабатываемой заготовки понижается по мере удаления рассматриваемой точки от поверхности резания, а наибольшая температура находится в месте контакта резца с заготовкой. Температура инструмента также различна в различных точках. Самая высокая температура соответствует точке, лежащей в центре давления стружки на резец.

Температура резания. Под температурой резания понимается средняя температура на поверхности контакта инструмента со стружкой. На температуру резания Q влияют многие факторы: механические свойства обрабатываемого материала, размер площади срезаемого слоя и скорость резания:

$$Q = C_Q v^m a^n b^q$$

где C_Q — коэффициент, характеризующий род и механические свойства обрабатываемого материала, геометрические параметры инструмента и свойства СОЖ; v — скорость резания, м/мин; m , n , q — коэффициенты степеней, причем $m > n > q$, т. е. на температуру резания большее влияние оказывает скорость, затем толщина срезаемого слоя a и наименьшее — ширина срезаемого слоя b .

Большое влияние на температуру резания оказывают механические свойства обрабатываемого металла. Чем выше предел прочности и твердость металла заготовки, тем большее сопротивление необходимо преодолеть при стружкообразовании, тем большую работу надо затратить на резание, тем больше выделится тепла и будет выше температура резания. При резании твердых материалов стружка соприкасается с передней плоскостью резца на меньшей площади, чем при резании мягких сталей. Это повышает давление на единицу поверхности контакта, а отвод тепла в тело резца и толщу стружки ухудшается, что приводит к повышению температуры в поверхностных слоях резца. Чем выше теплоемкость и теплопроводность обрабатываемого металла, тем лучше отвод тепла в стружку и в обрабатываемую заготовку и тем меньше температура на поверхности резца.

Большое влияние на температуру резания . оказывают геометрические

элементы резца: угол резания, главный угол и радиус закругления при вершине резца. Отрицательный передний угол по сравнению с положительным вызывает большие деформации и приводит к большему выделению тепла. При работе с передним углом $\gamma = -10^\circ$ температура резания повышается на 15° по сравнению с работой резцом, имеющим положительный угол $\gamma = +10^\circ$. При увеличении главного угла в плане уменьшается ширина стружки и длина активной части режущей кромки, что приводит к менее интенсивному отводу тепла в заготовку и в тело резца, теплота концентрируется на меньшей ширине среза около вершины резца, и температура резания повышается. Наиболее резкое увеличение температуры резания происходит в пределах $\varphi = 20—60^\circ$.

Радиус закругления при вершине резца в плане оказывает влияние на общее тепловыделение и на его отвод. Увеличение радиуса закругления хотя и увеличивает тепловыделение, но и увеличивает длину активной части режущей кромки, объем головки резца улучшает отвод тепла в тело резца и в заготовку, что является преобладающим, и приводит к снижению температуры резания. Чем больше площадь поперечного сечения тела резца, тем интенсивнее отвод тепла от мест его образования в тело резца, тем меньше температура резания.

Источники и распределение теплоты в зоне резания

Процесс резания металлов сопровождается значительным тепловыделением в результате того, что механическая работа резания переходит в тепловую энергию. Основными источниками возникновения тепла в зоне резания являются:

внутреннее трение между частицами срезаемого слоя в результате его пластической деформации при образовании стружки (Q_1);

трение стружки о переднюю поверхность инструмента (Q_2);

трение поверхности резания и обработанной поверхности по задним поверхностям инструмента (Q_3).

Схема расположения источников тепла в зоне резания представлена на рис. 24.2.

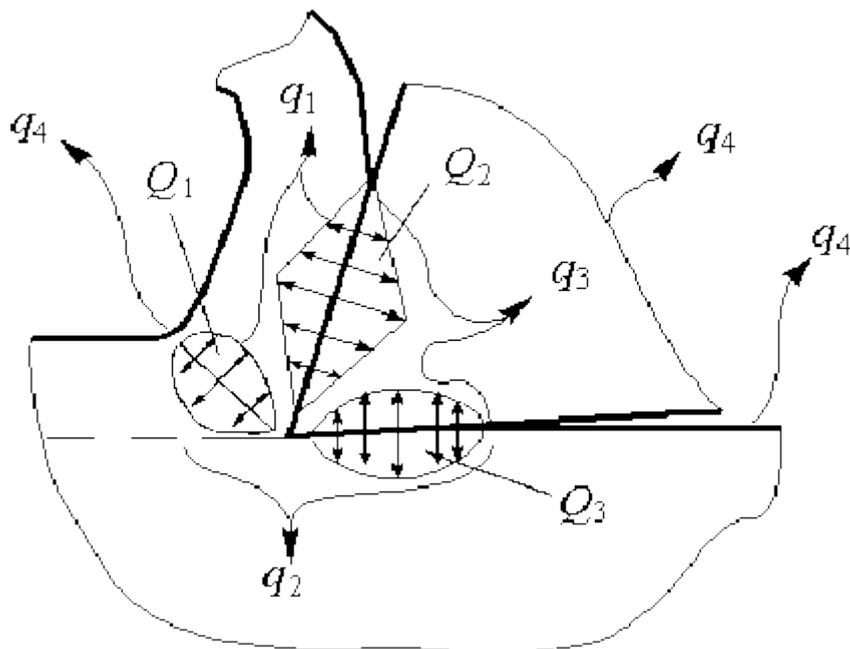


Рис. 24.2. Источники тепла в зоне резания

Наиболее интенсивное выделение тепла происходит в области стружкообразования, прилегающей к плоскости скалывания 1—1 в этой области теплота выделяется в результате двух одновременно протекающих процессов: во-первых, в результате пластической деформации сдвига элементов образующейся стружки по плоскости скалывания; во-вторых, в результате пластической деформации сжатия и частично пластической деформации смятия тонкого слоя металла примыкающего к плоскости скалывания со стороны срезаемого слоя припуска. Этот слой показан на рис. 2 и выделен штриховкой.

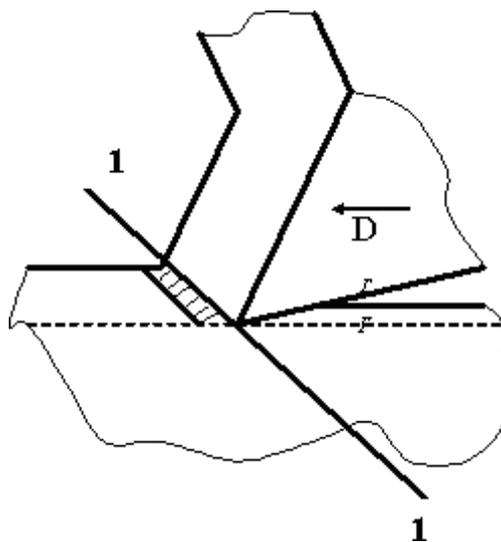


Рис. 24.3. Слой упруго-пластической деформации впереди зоны стружкообразования, перед плоскостью скалывания 1-1

Упругая деформация всегда предшествует пластической деформации и потому имеет место и при пластической деформации срезаемого слоя при резании металлов. Пластическая деформация в этом слое обнаруживается

путем измерения микротвердости и существует по той же причине, что и деформация материала под поверхностью резания и под обработанной поверхностью. Возможно количество тепла, выделяющегося в результате упругой деформации невелико, но предполагать вероятность этого процесса и учитывать его существование необходимо.

Общее количество выделяющегося при резании тепла равно сумме тепла, выделившегося во всех перечисленных выше источниках:

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Тепло, образующееся в процессе резания, не аккумулируется в местах его образования, а распространяется от точек с более высокой температурой к точкам с низкой температурой. Из зоны резания тепло уносится со стружкой (q_1), передается в заготовку (q_2) и инструмент (q_3) и распространяется в окружающую среду (q_4). Тепловой баланс процесса резания может быть выражен уравнением:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$$

Соотношение количества тепла, отводимого со стружкой в деталь, в инструмент и окружающую среду, зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режима резания, геометрии режущего инструмента и внешних условий, в которых осуществляется резание.



Рис. 24.4. Зависимость образования и распределения теплоты, от скорости резания

В начале обработки температура в зоне резания растет до какого-то определенного значения и устанавливается постоянной, соответствующей стационарному тепловому режиму, при котором выделение тепла равняется отводу его по перечисленным направлениям. Для практических целей наибольший интерес представляет температура рабочей части инструмента и обрабатываемой заготовки. Тепло, переходящее в заготовку, увеличивает ее температуру и вызывает температурное изменение ее размеров и коробление,

подчас являющееся причинами брака.

Теплота, переходящая в инструмент, при всей своей относительной незначительности, концентрируясь в малых объемах материала инструмента, вызывает сильный разогрев его в этих объемах и снижение режущих свойств и износоустойчивости инструмента. С увеличением скорости резания доля тепла, переходящего в инструмент, уменьшается, но абсолютное его количество возрастает и температура в зоне резания увеличивается до значений, близких к температуре красностойкости металла инструмента.

Методы измерения температуры в зоне резания

Существует несколько методов измерения температуры в зоне резания. Калориметрический метод (Рис. 24.5) заключается в том, что стружка собирается в калориметре с водой. Зная количество воды в калориметре, вес стружки и ее теплоемкость, можно определить среднюю температуру стружки по разности температуры воды в калориметре до, и после резания.

$$\theta_{стр.} = \theta_{см.} + \frac{G_{воды} \cdot (\theta_{смес} - \theta_{воды})}{G_{стр.} \cdot C_{стр.}}$$

где: $\theta_{стр.}$ — средняя температура стружки,

$\theta_{см.}$ — температура смеси воды и стружки в калориметре,

G — вес воды в калориметре,

$G_{стр.}$ — вес стружки в калориметре.

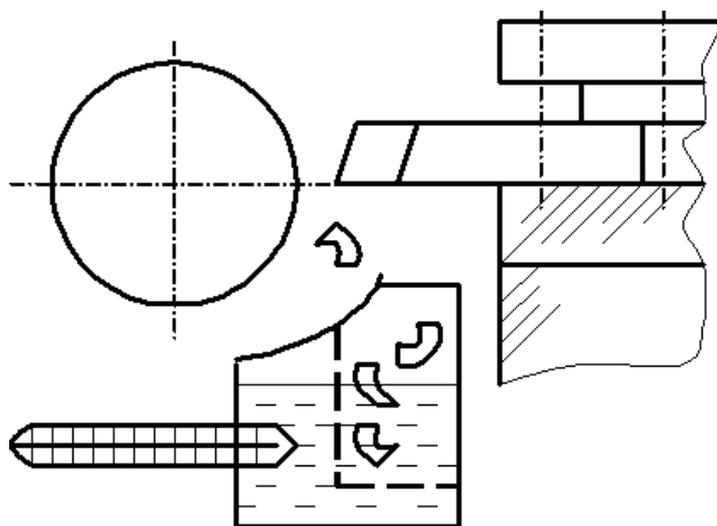


Рис. 24.5. Схема измерения температуры калориметрическим методом

Температуру поверхности инструмента за пределами зоны его контакта с обрабатываемым изделием или стружкой можно определить с помощью термочувствительных красок, которые изменяют свой цвет при нагревании до определенной температуры.

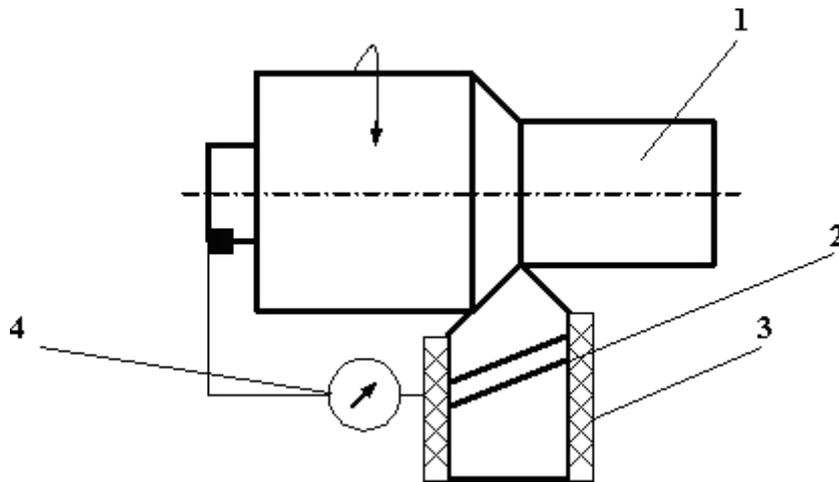


Рис. 24.6 Схема измерения температуры в зоне резания методом естественной термопары, где 1- обрабатываемая заготовка, 2- резец, 3-изоляция, 4- милливольтметр

Метод измерения температуры с помощью термопар является наиболее удобным и более широко применяется в современных исследованиях. Метод измерения естественной термопарой (Рис. 24.6) наиболее прост по осуществлению, но для получения абсолютных значений температур требует проведения очень трудоемкой операции градуирования термопары «инструмент — обрабатываемый материал».

Для наблюдения за изменением температуры контактных слоев стружки при перемещении ее по длине контакта может применяться «бегущая термопара». Суть этого метода заключается в том, что в заготовку заделываются термопары, которые при перерезании их режущим лезвием инструмента образуют слой термопары, скользящий (бегущей) по передней и задней поверхностям. Схема метода представлена на рис. 24.7

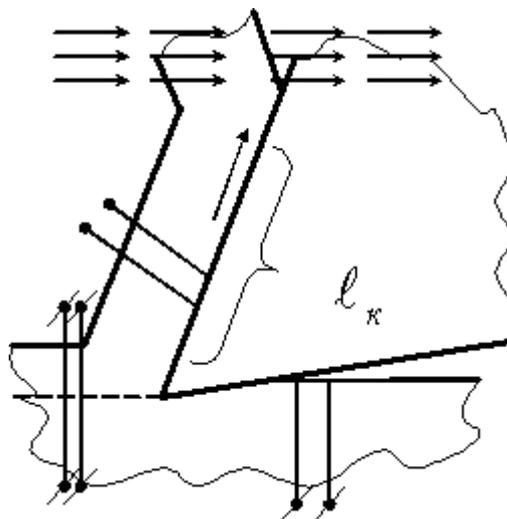


Рис. 24.7.Схема измерения температуры на передней и задней поверхностях инструмента методом бегущей термопары

Разновидностью метода естественной термопары является «метод двух резцов» (рис. 24.8), который сводится к резанию одновременно двумя резцами, изготовленными из разных материалов. Этот метод позволяет исключить мучительный процесс градуирования термопары для каждого вида обрабатываемого материала; термопара градуируется один раз, и полученная градуировочная кривая используется для всех обрабатываемых материалов.

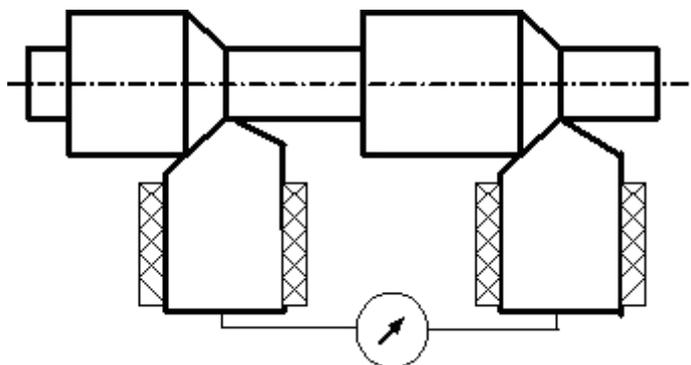


Рис. 24.8. Схема измерения термопары методом «двух резцов»

Температурное поле после реза

Измерениями установлено, что теплота в зоне резания распределяется неравномерно. Наибольшая температура действует на передней поверхности при удалении от главной режущей кромки на $1/3$ длины контакта стружки с передней поверхностью. Совокупность мгновенных значений температуры в различных точках зоны резания называется температурным полем. Температурное поле дает наиболее яркую и полную картину температурной обстановки в зоне резания.

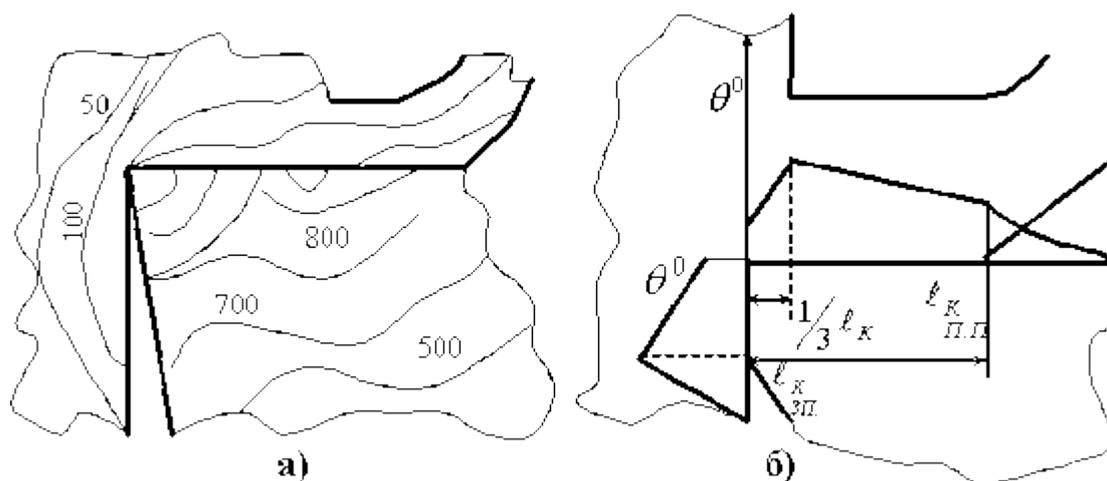


Рис. 24.9. Температурное поле (а) и распределение температуры в зоне резания (б)

Зависимость температуры от элементов режима резания

Многочисленные исследования зависимости температуры от различных факторов показывают, что температура в зоне резания зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режима резания, геометрии режущего инструмента и многих других условий. Наибольшее влияние на температуру в зоне резания оказывает скорость резания, в меньшей степени влияет подача, а влияние глубины резания почти не обнаруживается. Из геометрических параметров режущей части инструмента наиболее сильно на температуру резания влияют передний угол, главный угол в плане и радиус закругления при вершине, сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок на вершине режущего лезвия инструмента.

Различными исследованиями предложен ряд аналитических и эмпирических формул для расчета температуры в зоне резания. Аналитические формулы сложны и включают в себя большое число не всегда известных величин. Эмпирические же формулы просты, но справедливы лишь в пределах условий проведения эксперимента. Структура эмпирических формул зависит от числа учтенных факторов, оказывающих какое-либо влияние на величину температуры в зоне резания. Наиболее общими являются формулы вида:

$$\theta = C_{\theta} \cdot t^{x_{\theta}} \cdot s^{y_{\theta}} \cdot v^{z_{\theta}},$$

где: θ — температура в зоне резания, $^{\circ}\text{C}$;

t - глубина резания, мм;

s - подача, $\frac{\text{мм}}{\text{мм}}$;

v - скорость резания, $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$;

C_{θ} - константа, учитывающая условия резания.

$x_{\theta}, y_{\theta}, z_{\theta}$ - показатели степени, показывающие степень влияния каждого элемента режима резания на температуру в зоне резания.

Наиболее часто величина показателей степени для каждого из элементов режима резания находится в пределах:

$$x_{\theta} = 0,1 - 0,2;$$

$$y_{\theta} = 0,2 - 0,25; z_{\theta} = 0,4 - 0,6.$$

Это показывает, что наиболее сильно на температуру в зоне резания влияет скорость резания, слабее влияет подача, а глубина резания не оказывает на нее существенного влияния. Это объясняется тем, что с увеличением глубины резания пропорционально ей увеличивается длина рабочего участка главной режущей кромки, и напряженность процесса резания не изменяется, остается прежней.

ЛЕКЦИЯ №25

ИЗНОС РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗНОСА. СОЖ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ.

Износ и стойкость инструментов

В процессе резания в результате трения стружки о переднюю поверхность инструмента и задней поверхности о заготовку режущие поверхности инструмента изнашиваются. Независимо от вида и назначения инструменты изнашиваются: по задней поверхности (рис. 25.1,а); по передней поверхности

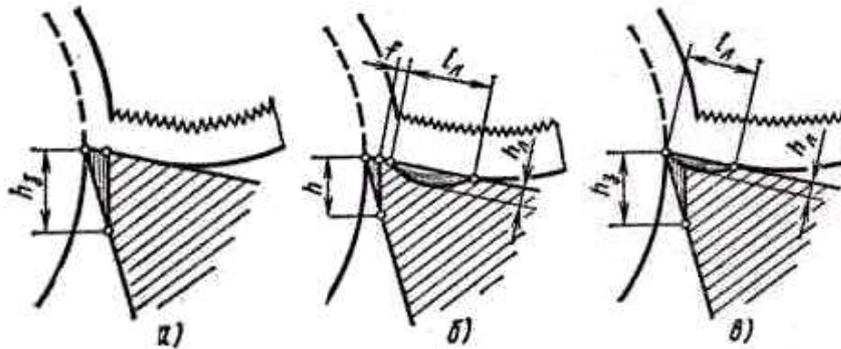


Рис. 25.1. Схема износа резцов:

а — по задней поверхности, б—по передней поверхности, в—по задней и передней поверхностям

(Рис.25.1,б); одновременно по передней и задней поверхностям (рис. 25.1, в). В зависимости от условий обработки может преобладать тот или иной вид износа. Износ по задней поверхности характеризуется площадкой с высотой h_3 (рис. 25.1, а). В процессе резания увеличиваются площадка, трение, нагрев, быстрее протекает процесс износа. Быстрый рост износа является опасным, так как может привести к разрушению режущей кромки инструмента. Износ инструмента допускается в определенных пределах (допустимый износ), после которого инструмент надо переточить, возобновить его режущие способности. Износ передней поверхности инструмента образуется от трения сходящей с нее стружки. Износ образуется в виде лунки глубиной $h_д$ (рис. 25.1,б,в). Края лунки располагаются приблизительно параллельно главному лезвию инструмента, а длина лунки равна его рабочей длине.

При работе инструментами из быстрорежущей стали на малых и средних скоростях резания перемычка между краем лунки и главным лезвием сохраняется благодаря образовавшемуся наросту, предохраняющему переднюю грань от истирающего действия стружки. По мере увеличения износа край лунки может сойтись с кромкой изношенной задней поверхности и на окончательно изношенном инструменте останется только часть лунки (рис. 25.1,в). Практически до такого износа инструмент не доводят, а перетачивают значительно раньше из-за износа по задней поверхности.

Лунка, увеличивая передний угол реза, облегчает процесс резания. На рис. 25.1, в показан одновременный износ по задней и передней поверхностям инструмента.

Виды износа. Основными видами износа являются абразивное, молекулярное и диффузионное изнашивание и приработочный износ.

Абразивный износ — это царапание твердыми частицами, находящимися в обрабатываемом материале, режущих поверхностей инструмента. Большой абразивный износ причиняют инструменту окалина и литейная корка на заготовках.

Молекулярный износ происходит в результате действия молекулярных сил сцепления (прилипание, спекание) между материалами заготовки (стружки), вызывающих при трении скольжения отрыв (захватывание) мельчайших частиц материала инструмента. Этот вид износа характерен при обработке стали и других вязких материалов.

При контакте одноименных материалов схватывание начинается при температурах, равных $(0,3—0,4) T_{пл}$, а при контакте разноименных материалов $(0,35—0,5) T_{пл}$, при очень высоких температурах контактирования процесс схватывания приводит к спеканию. Молекулярный износ можно уменьшить применением СОЖ, которые создают на контактных поверхностях защитные пленки, уменьшающие силы прилипания.

Диффузионное изнашивание — это диффузионное растворение металла инструмента в обрабатываемом материале при температурах $800—850$ °С. Интенсивность протекания диффузионных процессов заметно уменьшается при применении инструментальных материалов, химически инертных по отношению к обрабатываемому материалу.

Резец по времени изнашивается неравномерно. В начале работы быстро истираются неровности, шероховатости режущей кромки и обезуглероженный слой инструмента, появившийся при его термической обработке. Этот износ называется приработочным.

Стойкость инструмента. На рис. 25.2 процесс износа изображен графически.

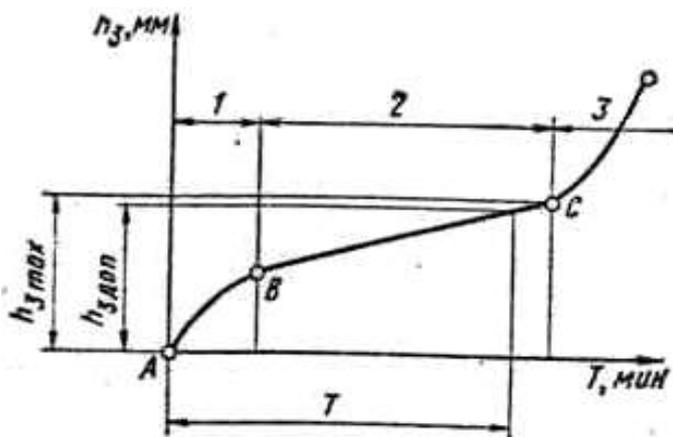


Рис. 25.2 Зависимость износа резца по задней поверхности от продолжительности работы: зоны: 1 — приработки, 2 — нормального износа, 3 — разрушения; T — период стойкости резца

Сначала в зоне 1 от A до B будет приработочный процесс. В зоне 2 — прямая BC изображает нормальный износ, высота площадки из равномерно растёт. Затем высота достигает определенной величины $h_{\text{змах}}$. Их дальнейший износ и перегрев резца вызывает резкое увеличение площадки износа, разрушение режущей кромки — зона 3. Чтобы не допустить разрушения режущей кромки, резец (или другой инструмент) снимают и перетачивают раньше, чем износ достигнет определенной допустимой величины $h_{\text{доп}}$. Время работы инструмента до износа на величину $h_{\text{доп}}$ называется периодом стойкости (стойкостью) T (мин). Иначе говоря, стойкостью называется машинное время работы резца до переточки.

На износ и стойкость инструмента влияют скорость резания, физико-механические свойства обрабатываемого и инструментального материала, состояние поверхности режущих кромок инструмента, жесткость технологической системы станка (СПИД), свойства применяемой СОЖ, элементы режима резания, углы резца и др.

Наибольшее влияние на стойкость инструмента оказывает скорость резания. Чем скорость выше, тем больше энергии расходуется на процесс резания, тем больше выделяется тепла, тем интенсивнее происходит износ трущихся поверхностей режущей части инструмента и тем меньше период стойкости. Исследованиями и практикой установлено, что небольшое приращение скорости резания вызывает значительное изменение стойкости резца. Например, если скорость резания при работе твердосплавным резцом увеличивается в два раза, то стойкость резца уменьшится в 32 раза.

В процессе работы все виды инструментов изнашиваются. Обслуживающий персонал — мастера, наладчики должны знать, до какого предела затупления (износа) можно доводить инструмент и когда изношенный или затупившийся инструмент снять для переточки или замены новым. Если доводить износ до точки b (рис. 25.2), такой износ будет неэкономичен, так как резец придется слишком часто перетачивать. Если доводить резец до слишком большого износа (до точки c), то при переточке придется удалять слишком много металла, инструмента. Кроме того, при работе с затупленным инструментом увеличиваются силы резания, ухудшается чистота обработки, повышается температура резания и усиливается сам процесс изнашивания.

Существует несколько способов определения износа инструментов.

Критерии блестящей полоски—при появлении на поверхности резания блестящей полоски (при обработке стали), а при обработке чугуна — темных пятен резец считается затупившимся. Появление блестящей полоски соответствует началу третьего периода износа (зона 3, рис. 25.2). Этот способ не применяют при работе сложным и дорогостоящим инструментом и при чистовых работах.

Силовой критерий (критерий Шлезингера) — резец считается затупленным, когда начинается заметное увеличение сил резания. Показание амперметра, включенного в цепь якоря мотора, может служить критерием

износа. Этот способ применяется при исследовательских работах, когда станки оснащены специальными приборами для измерения сил резания. Современные станки 16К20, 1К62, 1А16 и другие имеют на щитках управления амперметры. Амперметр покажет при затуплении инструмента резкое возрастание расходуемой мощности на резание.

Критерий оптимального износа подразумевает износ, при котором общий срок службы инструмента получается наибольшим. Общий срок службы резца M (в мин) определяется как произведение количества переточек K на время работы (стойкость) T , за которое этот износ образовался:

$$M = KT.$$

Этот способ оценки износа применяется при исследовательских работах. Он может быть использован в массовом производстве и при работе сложного и дорогого инструмента.

Технологический критерий—в серийном и массовом производстве заранее устанавливают, сколько деталей должно быть качественно обработано до износа инструмента на допускаемую величину, и после обработки установленного количества инструмент принудительно снимают и отдают в переточку.

В современных станках и автоматических линиях встроены специальные автоматические устройства, следящие за работой каждого инструмента. Когда подходит время снятия инструмента на переточку, сначала на щите управления дается предупредительный сигнал — в ячейке для данного инструмента загорается лампа красного цвета, после которого, если не будет снят инструмент, в течение обработки последующих 50—100 деталей (это количество устанавливается заранее) автоматическая линия или отдельная цепочка линии автоматически останавливается.

Из рассмотренных способов оценки износа инструмента наибольшее распространение имеют критерии оптимального износа и технологический.

Смазочно-охлаждающие жидкости

Назначение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) — оказывать при резании смазочное, охлаждающее, моющее и смывающее действие. При смазывающем действии понимается способность СОЖ образовывать прочные, масляные пленки на контактных поверхностях инструмента, детали и стружки, полностью или частично предотвращающие соприкосновение передней поверхности инструмента со стружкой, и задних — с заготовкой, в результате чего уменьшается трение между ними и, как следствие, тепловое выделение; снижается сила резания. Смазочные пленки могут быть физическими, химическими и механическими.

Физические пленки образуются благодаря наличию в СОЖ поверхностно-активных присадок — олеиновой кислоты, окисленного петролатума и некоторых эфиров.

Химические пленки образуются вследствие реакции находящихся в

СОЖ веществ, химически активных по отношению к смазывающему материалу, таких, как сера, фосфор, четыреххлористый углерод и соединения, содержащие азот.

Механические пленки образуются благодаря содержанию в СОЖ таких твердых веществ, как графит, дисульфит, молибден, сернистый титан, сернистый цинк и др.

Охлаждающее действие СОЖ заключается в отборе тепла от нагретых поверхностей инструмента и поверхностей заготовки. Жидкость, соприкасаясь с нагретыми поверхностями, за счет теплообмена охлаждает их. В результате охлаждения снижается температура резания, температура нагрева инструмента и заготовки.

Моющее действие СОЖ заключается в способности жидкости удалять продукты изнашивания с поверхности резания заготовки и контактных поверхностей инструмента.

В ряде станков и автоматических линий СОЖ применяется для смыва и удаления стружки (по специальным желобам и каналам в стружко-сборники).

К СОЖ предъявляются также требования по стабильности ее состава — при длительной эксплуатации она не должна разлагаться, безвредности — СОЖ не должна вызывать заболеваний кожи и слизистых оболочек, обладать также коррозионными свойствами—должна предохранять от ржавления детали станков и инструменты.

Выбор СОЖ определяется характером операции резания, видом инструмента, родом обрабатываемого материала и режимами резания.

Операции	Материал режущего инструмента	Смазочно-охлаждающая жидкость				
		Обрабатываемый материал				
		Углеродистые легированные конструкционные стали	нержавеющие и жаропрочные стали	и серый и ковкий чугун	алюминий и его сплавы	и ее сплавы
Точение, растачивание, сверление и зенкерование	Быстро режущая сталь или твердый сплав	3%-ный «Укринол-1»	РЗ-СОЖ8, ЛЗ-ЭМ/30	5%-ный «Укринол-1»	7%-ный «Укринол-1»	%-ный «Укринол-1»
Развертывание	То же	3%-ный «Укринол-1», МР-1, ОСМ-3	РЗ-СОЖ8, ЛЗ-ЭМ/30, МР-1	5%-ный «Укринол-1», ЛЗ-СОЖ1 ПО	7%-ный «Укринол-1». МОН-2. В-31	%-ный «Укринол-1». МР-1
Фрезерование	Быстро режущая сталь или твердый сплав	3%-ный «Укринол-1»	РЗ-СОЖ8, ЛЗ-ЭМ/30	5%-ный «Укринол-1»	7%-ный «Укринол-1».	%-ный «Укринол-1».

Резьбонарезание	Быстро режущая сталь	3%-ный «Укринол-1, ОСМ-3	РЗ-СОЖ8, ЛЗ-ЭМ/30, МР-1	5%-ный «Укринол-1», ЛЗ-СОЖ1ПО	МОТ-2 7%-ный «Укринол-1», В-31	%-ный «Укринол-1», МР-1
-----------------	----------------------	--------------------------	-------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-------------------------

Рекомендации по выбору СОЖ приведены в табл. 1. Марки охлаждающих жидкостей «Укринол-1», РЗ-СОЖ8 и ЛЗ-ЭМ/30 — эмульсолы, марки МР-1, ОСМ-3, В-31, ЛЗ-СОЖ1ПО—масляные СОЖ изготавливаются нефтемастозаводами; МОТ-2— эмульсия готовится

1. Смазочно-охлаждающие жидкости

по рецепту заводов-потребителей. Каждому сочетанию материал — вид обработки, материал — режим резания должна соответствовать определенная смазочная жидкость.

Применение СОЖ при резании уменьшает силу резания, улучшает качество обработанной поверхности и в большинстве случаев повышает стойкость инструмента.

СОДЕРЖАНИЕ

Лекция №1	3
Основы металлургического производства. Производство чугуна основы металлургического производства	
Лекция №2	7
Методы обогащения руды.	
Лекция №3	12
Методы обогащения руды.	
Лекция №4	18
Производство стали в кислородных конвертерах.	
Лекция №5	19
Мартеновская печь. Электродуговая печь.	
Лекция №6	30
Металлургия цветных металлов. Медь, алюминий.	
Лекция №7,8	35
Литейное оборудование. Объемные свойства материалов и их идентификации. Пресс-формы, требования материалы, состав и подготовки.	
Лекция №9	40
Модельный комплект. Технология изготовления стержней.	
Лекция №10	50
Приготовление форм. Технология изготовления форм.	
Лекция №11	54
Специальные виды литья. центробежные литья, литье под давлением.	
Лекция №12	67
Основные понятия обработки металлов давлением. Прокатка, пресование, волочения, штамповка.	
Лекция №13	70
Пластическая деформация металлов.нагрев стали. Диапазон температуры обработки. Способы нагрева.	
Лекция №14	82
Основные процессы обработки металлов давлением	
Лекция №15	103
Сварка конструкционных материалов	
Лекция №16	118
Режимы сварки.	
Лекция №17	123
Газовая сварка.	
Лекция №18	129
Резания металлов, теория резания металла. Инструментальные материалы, химический состав, типы, характеристики и применения	
Лекция №19	137

Абразивные материалы.	
Лекция №20	151
Режущие инструменты и их геометрические параметры .	
Лекция №21	167
Процесс образования стружки и типы стружек	
Лекция №22	170
Нарост в процессе резания. Влияние нароста на скорость резания.	
Методы контроля нароста.	
Лекция №23	174
Вибрация и вынужденные колебания, которые происходят и их причины возникновения. Автоколебания и их влияние на процесс резания.	
Лекция №24	179
Тепловой баланс в процессе резания. Факторы, которые влияют на температуру в зоне резания. Прямые и косвенные методы измерения теплоты.	
Лекция №25	18
Износ режущего инструмента. Методы определения износа. Сож в процессе резание использование охлаждающей жидкости.	
Литература	198

Литература

1. Краткий курс материаловедения и технологии конструкционных материалов для строительства: В. В. Белов, В. Б. Петропавловская — Санкт-Петербург, Издательство Ассоциации, 2006 г. - 208 с.
2. материаловедение и технология конструкционных материалов: А. М. Пейсахов, А. М. Кучер — Москва, Издательство Михайлова В, 2005 г. - 416 с.
3. материаловедение и технология материалов: — Москва, Инфра-М, 2012 г. - 288 с.
4. материаловедение и технология металлов: Г.П. Фетисов — Санкт-Петербург, Книга по Требованию, 2008 г. - 620 с.
5. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов. Справочник: В. С. Комбалов — Москва, Машиностроение, 2008 г. - 384 с.
6. Технология конструкционных материалов. Курс лекций (+ CD-ROM): А. Ф. Третьяков — Санкт-Петербург, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010 г. - 328 с.
7. Технология конструкционных материалов: Т. В. Чижикова, Б. А. Матюшкин — Санкт-Петербург, КолосС, 2011 г. - 376 с.
8. Технология обработки конструкционных материалов: С. Д. Кугультинов, А. К. Ковальчук, И. И. Портнов — Санкт-Петербург, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010 г. - 680 с.
9. Технология обработки материалов: А. А. Черепяхин — Санкт-Петербург, Академия, 2012 г. - 272 с.
10. Электротехнические и конструкционные материалы. Учебник: — Санкт-Петербург, Академия, 2013 г. - 280 с.
11. Электротехнические и конструкционные материалы: — Санкт-Петербург, Academia, 2012 г. - 288 с.
12. Электротехнические и конструкционные материалы: Бородулин В.Н., Воробьев А.С., Матюнин В.М. и др. — Москва, Мастерство, Высшая школа, 2001 г. - 280 с.