

**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**

**Рубцовский индустриальный институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова»**

А.А. КОНОНОВ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Учебное пособие для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» всех форм обучения

Рекомендовано Рубцовским индустриальным институтом (филиалом) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» всех форм обучения

Рубцовск 2023

УДК 621.002

Кононов А.А. Технологические процессы в машиностроении. Учебное пособие для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. - Рубцовск, 2023. – 112 с.

Рассмотрены современные и перспективные технологические процессы производства металлов и сплавов, неметаллических конструкционных материалов, изготовление заготовок и деталей машин методами литья, обработкой давлением, сваркой и резанием.

Приведено подробное описание основных свойств металлов, сплавов и неметаллических материалов.

Рассмотрено получение металлокерамических изделий из металлических порошков путем спекания.

Приведены пути повышения эксплуатационных характеристик технологической оснастки, применяемые в заготовительном производстве.

Учебник предназначен для студентов технических специальностей.

Рассмотрены и одобрены на
заседании НМС РИИ
Протокол № 7 от 28.09.2023 г.

Рецензент: к.т.н., доцент

О.П. Балащов

Содержание

| | |
|---|-----------|
| Предисловие | 6 |
| I. Основные свойства конструкционных материалов | 7 |
| 1.1. Классификация конструкционных материалов | 7 |
| 1.2. Основные свойства металлов и сплавов | 7 |
| 1.3. Свойства неметаллических конструкционных материалов | 14 |
| 1.4. Углеродистые стали | 15 |
| 1.5. Влияние постоянных примесей и углерода на свойства стали | 18 |
| 1.6. Легирование стали и их маркировка | 18 |
| 1.7. Чугун, как конструкционный материал | 19 |
| 1.8. Цветные металлы и сплавы | 21 |
| II. Производство черных и цветных металлов | 23 |
| 2.1. Материалы для производства металлов | 23 |
| 2.2. Способы производства металлов их руд | 24 |
| 2.3. Производство чугуна | 24 |
| 2.4. Способы производства стали | 27 |
| 2.5. Способы разлива стали | 31 |
| 2.6. Строение стальных слитков | 33 |
| 2.7. Способы повышения качества стали | 34 |
| 2.8. Производство цветных металлов и сплавов | 35 |
| III. Порошковая металлургия | 38 |
| 3.1. Значение порошковой металлургии в машиностроении | 38 |
| 3.2. Производство металлических порошков | 38 |
| 3.3. Приготовление смеси и формообразование заготовок | 42 |
| 3.4. Спекание заготовок | 44 |
| 3.5. Окончательная обработка заготовок, отделочные операции | 45 |
| 3.6. Применение порошковых конструкционных материалов и экономическая эффективность | 46 |
| IV. Производство отливок | 47 |
| 4.1. Технологическая схема изготовления отливок | 47 |
| 4.2. Литейные свойства сплавов | 47 |
| 4.3. Технологические особенности изготовления отливок из различных сплавов | 48 |
| 4.4. Технологические требования к конструкции отливки | 50 |
| 4.5. Модельные комплекты для ручной и машинной формовки | 51 |
| 4.6. Формовочные и стержневые смеси | 52 |
| 4.7. Разновидности литейных форм | 53 |
| 4.8. Изготовление отливок в песчано-глинистых формах | 53 |
| 4.9. Сборка и заливка литейных форм, охлаждение, выбивка, обрубка и очистка отливок | 54 |
| 4.10. Литье в оболочковых формах | 55 |
| 4.11. Литье по выплавляемым моделям | 55 |

| | | |
|--|---|-----|
| 4.12. | Изготовление отливок центробежным литьем | 56 |
| 4.13. | Кокильное литье | 56 |
| 4.14. | Литье под давлением | 57 |
| 4.15 | Пути повышения эксплуатационных характеристик технологической оснастки | 58 |
| 4.16 | Дефекты отливок, причины возникновения и методы их устранения | 59 |
| V. Обработка металлов давлением | | 60 |
| 5.1. | Физическая сущность обработки давлением | 60 |
| 5.2. | Факторы влияющие на пластичность металла | 61 |
| 5.3. | Влияние обработки металлов давлением на структуру и свойства металла. Наклеп и рекристаллизация | 62 |
| 5.4. | Основные виды обработки металлов давлением | 63 |
| 5.5. | Прокатное производство | 64 |
| 5.6. | Продукты прокатного производства | 64 |
| 5.7. | Технология производства основных видов проката | 65 |
| 5.8. | Ковка | 66 |
| 5.9. | Разработка технологического процессаковки | 68 |
| 5.10. | Горячая объемная штамповка | 70 |
| 5.11. | Разработка технологического процесса горячей объемной штамповки | 72 |
| 5.12. | Холодная объемная штамповка | 76 |
| 5.13. | Листовая штамповка | 77 |
| 5.14. | Прессование и волочение | 78 |
| 5.15. | Методы повышения эксплуатационной стойкости штампов горячего деформирования | 79 |
| 5.16. | Методы повышения эксплуатационной стойкости штампов холодного деформирования | 80 |
| VI. Сварочное производство | | 82 |
| 6.1. | Физические основы получения сварочного соединения и классификация способов сварки | 82 |
| 6.2. | Дуговая сварка, классификация способов дуговой сварки | 83 |
| 6.3. | Ручная дуговая сварка | 83 |
| 6.4. | Режимы дуговой сварки | 85 |
| 6.5. | Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом | 87 |
| 6.6. | Электрошлаковая сварка | 88 |
| 6.7. | Плазменная сварка | 90 |
| 6.8. | Электронно-лучевая сварка | 90 |
| 6.9. | Лазерная сварка | 91 |
| 6.10. | Газовая сварка | 91 |
| 6.11. | Электрическая контактная сварка и ее разновидности | 95 |
| 6.12. | Сварка трением | 97 |
| 6.13. | Ультразвуковая сварка | 97 |
| 6.14. | Сварка взрывом | 98 |
| 6.15. | Диффузионная сварка в вакууме | 99 |
| 6.16. | Наплавка металлов | 99 |
| 6.17. | Восстановление изношенных деталей наплавкой | 100 |
| 6.18. | Повышение износостойкости деталей, работающих на износ наплавкой | 100 |

| | | |
|------|--|------------|
| | VII Технология обработки заготовок деталей машин резанием | 101 |
| 7.1. | Типы токарных резцов | 101 |
| 7.2. | Тепловые явления при резании | 101 |
| 7.3. | Материалы для режущего инструмента | 103 |
| 7.4. | Виды изнашивания и стойкость режущего инструмента | 107 |
| 7.5. | Упрочнение режущего инструмента при резании | 107 |
| 7.6. | Электрофизические и электрохимические Заключение | 108 111 |
| | Список использованных источников | 112 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научно-технический прогресс в машиностроении неразрывно связан с совершенствованием существующих и созданием новых технологических процессов и конструкционных материалов с повышенными служебными характеристиками.

Для повышения качества, надежности и экономичности изделий машиностроения при снижении их материалоемкости разрабатываются высокоэффективные методы повышения прочностных свойств, коррозионной стойкости, тепло- и хладостойкости металлов и сплавов; расширяется производство новых полимерных и композиционных материалов с заданным комплексом свойств; используются эффективные методы обработки материалов и изделий с целью существенного улучшения их свойств.

Создавая новые технологии, конструкции машин и приборов и материалы с повышенными эксплуатационными свойствами с учетом экономических показателей, инженер должен самостоятельно владеть глубокими технологическими знаниями.

Данная книга написанная в соответствии с утвержденной программой предназначена в качестве учебника по курсам "Технологические процессы в машиностроении" и "Технология конструкционных материалов"

для студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений, являющиеся одним из основных в общем цикле дисциплин, определяющих подготовку инженеров-технологов, механиков и металлургов.

Предметом курса "Технологические процессы в машиностроении" является изучение распространенные методы производства конструкционных материалов и прогрессивные методы формирования заготовок, деталей машин и узлов. Содержание учебника представлено в принципе единство технологического цикла: свойство конструкционных материалов, методы их производства фундаментальных методов обработки - литья, обработки давлением, сварки и обработки их резанием.

В отличие от ранее изданных учебников в настоящей книге приведены методические материалы для оказания помощи студентам при выполнении лабораторных и практических занятий. Кроме того, изложены результаты научных исследований авторов по повышению эксплуатационных характеристик технологической оснастки, применяемые в металлообрабатывающих отраслях.

Такое построение курса, как показал многолетний опыт авторов, методически оправдано, так как позволяет студентам освоить технологический цикл от производства конструкционных материалов, до изготовления из них деталей машин и повышения их служебных характеристик, а также выбирать более совершенные технологии, с точки зрения экономической целесообразности.

При написании книги использованы многочисленные опубликованные работы, опыт промышленности и в большей степени многолетние исследование авторов.

При написании книги авторы постарались отразить то новое, что появилось в технологии в последние годы.

I. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1 Классификация конструкционных материалов

Конструкционные материалы, применяемые для изготовления деталей машин и механизмов эксплуатируются в тяжелых условиях: низких и высоких температурах, высоких давлениях, агрессивных средах и т.п. Такие условия работы машин предъявляют к материалам особые требования. Для удовлетворения этих требований применяются многочисленные материалы разного происхождения и с специфическими свойствами. Поэтому было бы целесообразно условно классифицировать эти материалы по признакам: происхождения, эксплуатационным свойствам и по химическому составу.

По происхождению конструкционные материалы можно классифицировать на две большие группы; металлические и неметаллические материалы.

По эксплуатационным свойствам; хладостойкие, теплостойкие, жаростойкие, жаропрочные, антифрикционные, антикоррозионные и т.п.

По химическому составу: черные металлы и сплавы, цветные металлы и сплавы, органические, элементоорганические и неорганические полимерные материалы и резиновые материалы.

Выбор материалов для деталей машин и приборов определяется эксплуатационными, технологическими и экономическими требованиями. Имея первостепенное значение, эксплуатационное требование к свойствам материалов часто играют определяющую роль, хотя технологические и экономические требования тоже важны, приобретая особое значение в условиях массового производства.

Классификация конструкционных материалов помогает конструкторам и технологам лучше ориентироваться в выборе материалов для деталей машин, приборов и технологической оснастки. Известно, что любая деталь в зависимости от условия эксплуатации имеет свое "главное свойство", которое без этого деталь не может выполнить характерные эксплуатационные функции. Поэтому при выборе материалов для изготовления деталей необходимо определить "главное свойство" данной детали.

Инженер, которому поручено осуществить подбор материалов для различных деталей должен обладать достаточными знаниями для оптимального выбора материала в каждом конкретном случае, принимая во внимание наличие материала требования технологии обработки, условия эксплуатации и не менее важный фактор стоимости. При этом необходимо учитывать требования взаимной согласованности деталей конструкции. Искусство инженера не сможет проявиться в полной мере, если он не понимает факторов, определяющих свойства материалов. Без этих сведений материал остается неизвестным и инженер не сможет учесть ограничения, связанные с особенностью поведения различных материалов, и целенаправленно изменить как свойства материалов, так и саму конструкцию.

Исходя из этих соображений подробно изложены основные свойства металлических и неметаллических материалов.

1.2. Основные свойства металлов и сплавов

Современное машиностроение предъявляет высокие требования к конструкционным материалам в связи с резким повышением многих параметров работы механизмов: давления, химической агрессивности окружающих сред, скоростей, температур и т.п.

Широкое использование металлов и сплавов в современной технике связано с тем, что они обладают замечательным комплексом свойств: механическими, физическими, химическими, технологическими и эксплуатационными свойствами.

Следовательно, общие свойства металлов и сплавов можно классифицировать следующим образом:

1) механические, 2) физические, 3) химические, 4) технологические, 5) эксплуатационные свойства.

Механические свойства. Под механическими свойствами понимают величины, характеризующие поведение материала под действием механических сил.

К механическим свойствам относятся: твердость, прочность, пластичность (относительное удлинение и относительное сужение) и ударная вязкость.

Твердость - это способность материала сопротивляться внедрению в него другого, более твердого тела. Значение твердости и ее размерность для одного и того же материала зависят от применяемого метода измерения.

Твердость металлов измеряют при помощи воздействия на поверхность металла наконечника, изготовленного из малодеформированного материала (стального шарика, алмаза и др.).

Существует несколько способов измерения твердости, различающихся по характеру воздействия наконечника.

Твердость можно измерять вдавливанием наконечника (способ выдавливания), царапанием поверхности (способ царапания), ударом или же по отскоку наконечника шарика.

Наибольшее применение получило измерение твердости вдавливанием. При вдавливании с большой нагрузкой поверхностные слои металла, находящиеся под наконечником и вблизи него, пластически деформируются. После снятия нагрузки остается отпечаток.

Особенность происходящей при этом деформации заключается в том, что она протекает только в небольшом объеме, окруженном недеформированным металлом. При измерении твердости вдавливанием пластическую деформацию испытывают не только пластичные металлы, но и металлы, которые при обычных механических испытаниях разрушаются хрупко, почти без макроскопически заметной пластической деформации.

Таким образом, твердость характеризует сопротивление пластической деформации и представляет собой механическое свойство металла, отличающееся от других механических свойств способом измерения.

Измерение твердости различными способами студенты будут изучать в курсе "Материаловедение", а в данной работе мы кратко ознакомим студентов с методом Бринелля.

Сущность этого метода состоит во вдавливании закаленного шарика диаметром 10, 5 и 2,5 мм с помощью процесса. Нагрузка определяется формулой.

Для материалов средней твердости - формулой $P = 300d^2$, Н, для материалов пониженной твердости - $P = 100 d^2$, Н, для материалов с низкой твердостью - $P = 25 d^2$, Н.

Испытуемый образец или деталь устанавливают на столике 1 в нижней части неподвижной станины пресса (рисунок 1.1), зашлифованной поверхностью кверху.

Поворотом вручную маховика 2 по часовой стрелке столик прибора поднимают так, чтобы шарик 4 мог вдавиться в испытуемую поверхность и нажатием кнопки включают двигатель 5. При этом сначала перемещается коромысло и постепенно нагружает шток, который и вдавливает стальной шарик под действием нагрузки 3, сообщаемой подвешенным к коромыслу грузом. Эта нагрузка действует в течение определенного времени, обычно 10-60 с, в зависимости от твердости материала, после чего вал двигателя, вращаясь в обратную сторону, соответственно перемещает коромысло и снимает нагрузку. После автоматического включения двигателя, поворачивая маховик 2 против часовой стрелки, опускают столик прибора и затем снимают образец.

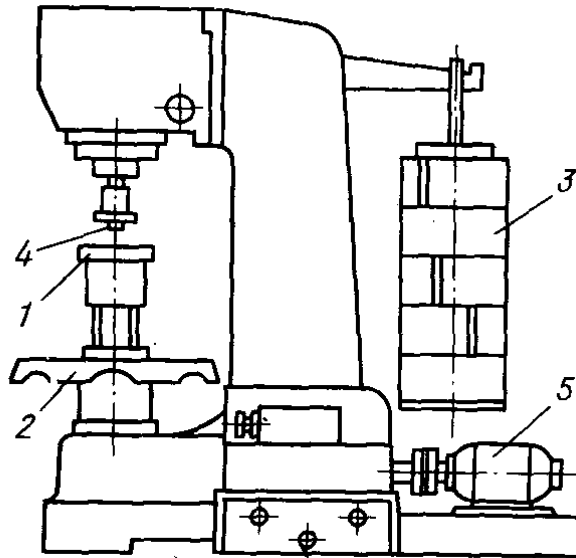


Рисунок 1.1 Схема прибора для измерения твердости вдавливанием шарика (измерение твердости по Бринеллю)

В образце остается отпечаток со сферической поверхностью (лунка) (рисунок 1.2). Диаметр отпечатка измеряют лупой, на окуляре которой нанесена шкала с делениями, соответствующими десятым долям миллиметра. Диаметр лунки измеряют с точностью до 0,05мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях и принимают среднее значение.

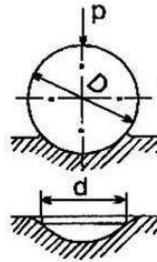


Рисунок 1.2. Схема образования лунки и измерение ее диаметра

Зная диаметр лунки, определяют твердость по таблице или по формуле:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ Мпа,}$$

где: P - нагрузка на шарик, Н;
 F - поверхность отпечатка, мм;
 D - диаметр шарика, мм;
 d - диаметр лунки, мм.

Прочность - это способность твердого тела сопротивляться деформации или разрушению под действием статических или динамических нагрузок.

Для определения прочности применяются испытания на растяжение (для конструкционных сталей, цветных металлов и сплавов) и на изгиб (для твердых и сверхтвердых инструментальных материалов).

Испытания на растяжение проводят на образцах, изготовленных из исследуемого материала. Образцы применяют цилиндрические или плоские, с начальной расчетной длиной $L_0 = 5 \cdot d_0$ (короткие) и $L_0 = 10 \cdot d_0$ (длинные); для цилиндрических $L_0 = 5,65 \cdot d_0$ или $L_0 = 11,3 \cdot \sqrt{F_0}$ соответственно (рисунок 1.3)

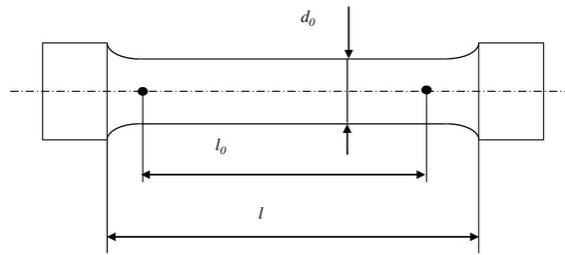


Рисунок 1.3. Образцы для испытания на растяжение

При растяжении образца на испытательной машине до разрушения фиксируются графически зависимости между приложенным усилием и удлинением образца - так называемые диаграммы деформации (рисунок 1.4). Деформация образца при нагружении металла сначала является упругой, а затем постепенно и в разных зернах, при неодинаковой нагрузке, переходит в пластическую, происходящую путем сдвигов по дислокационному механизму. Накопление дислокаций (дефектов структуры) в результате деформаций ведет к упрочнению (наклепу) металла, но при значительной их плотности, особенно на отдельных участках, возникают очаги разрушения, приводящие в конечном счете к полному разрушению образца в целом.

При испытаниях на растяжение определяют следующие характеристики:

- предел упругости $\sigma_{yn} = P_{yn}/F_0$ - напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,05% от рабочей длины образца, МПа (иногда обозначается в виде);

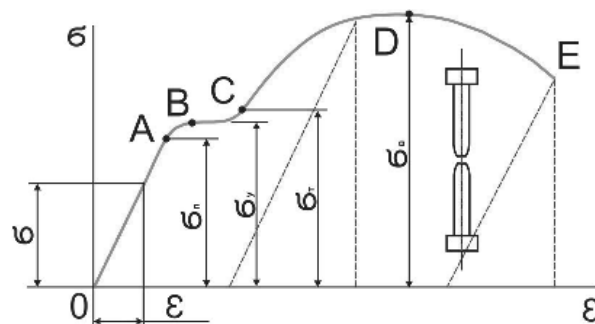


Рисунок 1.4. Диаграмма растяжения образца

- предел текучести σ_T - наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки или условный предел текучести - напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2% МПа;

- σ_B - временное сопротивление - напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке P_B , предшествующей разрушению образца, МПа.

Диаграмма растяжения определяет также пластические характеристики материала. Пластичность - это способность материала получать остаточное изменение формы и размера без разрушения и характеризуется относительным удлинением и относительным сужением в %.

Относительное удлинение определяется по формуле:

$$\delta = \frac{I_1 - I_0}{I_0} \cdot 100\%,$$

т.е. отношение приращения расчетной длины образца после разрыва $I_1 - I_0$ к ее первоначальной величине.

А относительное сужение определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{F_1 - F_0}{F_0} \cdot 100\%, \text{ т.е. отношение уменьшения площади поперечного сечения образца}$$

в место разрыва $F_1 - F_0$ к начальной площади поперечного сечения образца F_0 .

Между пределом прочности (МПа) и числом твердости (НВ) различных металлов существует следующая зависимость:

Сталь с твердостью НВ 1200 - 1750 МПа $\sigma_{\sigma} = 3,4$ и НВ 175 - 450, $\sigma_{\sigma} = 3,5$ НВ;

Медь, латунь и бронза отожженная - $\sigma_{\sigma} = 5,5$ НВ, а наклепная - $\sigma_{\sigma} = 4,0$ НВ;

Алюминий и алюминиевые сплавы - $\sigma_{\sigma} = 3,3 - 3,6$ НВ.

Ударная вязкость. Прочность при динамических нагрузках оценивают по ударной вязкости - а КСИ, МДж/м. Для определения ударной вязкости применяют образцы размерами 10x10x55мм, с надрезом и без надреза. Для материалов с твердостью более НВ 450 НВ - без надреза (КС), а остальных - с надрезом (рисунок 1.5). Испытания проводятся на маятниковых копрах. Маятник свободно качается на шариковых подшипниках в точке О. Исходный угол подъема (точка Б), вес маятника и длина являются расчетными данными.

Ударная вязкость определяется по формуле:

$$КСИ = \frac{A}{F}, \text{ МДж/м}^2$$

где A – работа, затраченная на разрушение образца, МДж;

F - площадь сечения образца на месте разрыва, м.

Физические свойства. К физическим свойствам металлов и сплавов относятся температура плавления, плотность, температурный коэффициент расширения, электросопротивление, коэрцитивная сила (Нс), намагниченность насыщения (4п), теплопроводность и теплоемкость.

Между структурным состоянием металлических сплавов и физических свойств существует определенная связь. По изменениям физических свойств можно судить об изменении фазового состава сплавов и о протекании структурных превращений, которые и изменяют механические свойства.

Различают структурно-чувствительные и структурно-нечувствительные физические свойства. К первым относятся свойства, реагирующие на изменение степени искаженности кристаллической решетки, на концентрацию примесных атомов, порядок в расположении атомов компонентов - на размер зерна, на появление частиц избыточной фазы, изменение их дисперсности и на другие особенности структуры. Структурно-чувствительными свойствами являются электрические, гальваномагнитные, объемные, некоторые магнитные свойства (Нс).

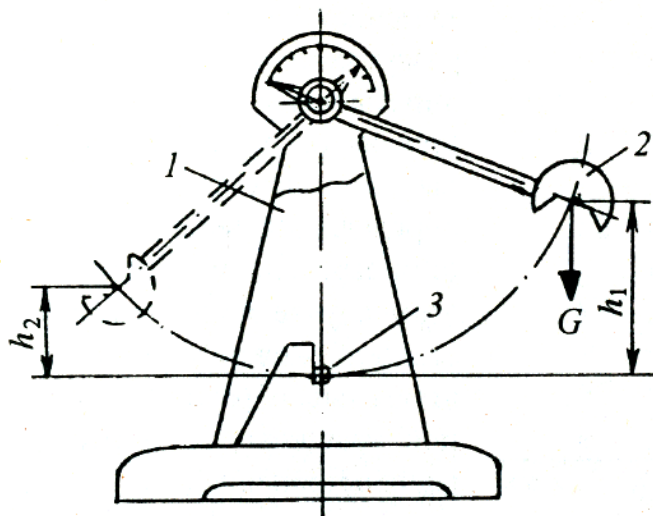


Рисунок 1.5. Схема испытания на ударную вязкость

К структурно-чувствительным физическим свойствам, в первую очередь, относятся намагничённость насыщения и теплоёмкость.

Химические свойства. К химическим свойствам относятся стойкость против общей коррозии, межкристаллитной коррозии и коррозионного растрескивания. Общая коррозия - это распространение окислов металла на всю поверхность металла, межкристаллитная коррозия образуется внутри металла между кристаллами (зернами). При одновременном воздействии агрессивной среды и механических напряжений возникает особый вид разрушения - коррозионное растрескивание.

Технологические свойства. К технологическим свойствам относятся литейные: свариваемость, обрабатываемость давлением, обрабатываемость резанием, закалываемость и деформации при термической обработке.

Литейные свойства определяются жидкотекучестью, усадкой и склонностью к ликвации.

Жидкотекучесть - это способность металлов и сплавов течь в расплавленном состоянии по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки. Жидкотекучесть литейных сплавов зависит от температурного интервала кристаллизации; вязкости и поверхностного натяжения расплава, температуры заливки и формы, химического состава сплавов, свойств литейной формы и т.п. Чем выше вязкость, тем меньше жидкотекучесть. С увеличением поверхностного натяжения жидкотекучесть понижается. С повышением температуры заливки расплавленного металла и температуры формы жидкотекучесть улучшается.

За меру жидкотекучести принимают длину заполненной части спирали, измеряемую в миллиметрах. Наибольшей жидкотекучестью обладает серый чугун, бронза, наименьшей - магниевые сплавы.

Усадка - свойства литейных сплавов уменьшать объем при затвердевании и охлаждении. Усадочные процессы в отливках протекают с момента заливки расплавленного металла в литейную форму, вплоть до полного охлаждения отливки. Различают линейную и объемную усадку, выражаемую в относительных единицах.

Линейная усадка - наименьшее линейных размеров отливки, при ее охлаждении от температуры, при которой образуется прочная корка, способная противостоять давлению расплавленного металла, до температуры окружающей среды.

Линейную усадку определяют соотношением:

$$\varepsilon_{\text{л}} = \frac{l_{\text{ф}} - l_{\text{от}}}{l_{\text{ф}}} \cdot 100\% ,$$

где: $l_{\text{ф}}$ и $l_{\text{от}}$ размеры полости формы и отливки при цеховой температуре.

На линейную усадку влияют химический состав сплава, температура его заливки, скорость охлаждения сплава в форме, конструкция отливки и литейной формы. Усадка серого чугуна уменьшается с увеличением содержания углерода и кремния. Усадку алюминиевых сплавов уменьшает повышенное содержание кремния и т.п. Минимальной усадкой обладают серые чугуны, максимальной - углеродистые стали.

Объемная усадка - уменьшение объема сплава при его охлаждении в литейной форме при формировании отливки. Объемную усадку определяют соотношением:

$$\varepsilon_{\text{об}} = \frac{V_{\text{ф}} - V_{\text{от}}}{V_{\text{ф}}} \cdot 100\% ,$$

где: $V_{\text{ф}}$ и $V_{\text{от}}$ - объем полости формы и объем отливки при цеховой температуре.

Объемная усадка приблизительно равна утроенной линейной усадке:

Усадка в отливках проявляется в виде усадочных раковин, пористости, трещин и коробления.

Ликвация - неоднородность химического состава сплава по сечению отливки. Различают зональную и дендритную ликвации. Зональная ликвация создает химическую неоднород-

ность в объеме всей отливки, дендритная - в пределах одного зерна. Неоднородность химического состава и структуры по сечению приводит к неоднородности механических свойств отливки. Для уменьшения ликвации увеличивают скорость охлаждения отливки.

Обрабатываемость давлением. Способность металлов обрабатываться давлением характеризуется ковкостью.

Ковкость в значительной степени определяется пластичностью, зависит от температуры обработки, химического состава и структуры металла.

Обрабатываемость резанием. Обрабатываемость резанием - способность металла подвергаться обработке режущими и абразивными инструментами с целью получения деталей определенной формы, размеров и шероховатости поверхности.

На обрабатываемость резанием влияют твердость, структура, теплопроводность, химический состав металла и т.п. Металлы и сплавы пониженной твердости ухудшают обрабатываемость из-за образования вьющейся стружки, что интенсивно изнашивает переднюю поверхность резца. Повышенная твердость тоже ухудшает обрабатываемость из-за высокого сопротивления металла инструменту. С повышением теплопроводности обрабатываемого материала улучшается обрабатываемость резанием из-за ускоренной передачи тепла из зоны резания.

Свариваемость. Свариваемость характеризуется способностью металлов образовывать качественные сварные швы и оценивается степенью соответствия заданных свойств сварного соединения одноименным свойствам основного металла и их склонностью к образованию таких сварочных дефектов, как трещин, поры, шлаковые включения и др. По этим признакам материалы разделяют на хорошо, удовлетворительно и плохо сваривающиеся.

На свариваемость в основном влияют химический состав, структура и теплопроводность материала. С уменьшением содержания углерода в стали улучшается свариваемость.

Эксплуатационные свойства. В зависимости от условий работы машины или конструкции определяют коррозионную стойкость, хладостойкость, теплостойкость, жаростойкость, жаропрочность и антифрикционность материала.

Коррозионная стойкость - сопротивление сплава действию агрессивных кислотных и щелочных средств. Коррозионная стойкость зависит от химического состава и структуры материала. Главными элементами определяющей коррозионной стойкости являются хром и углерод. Содержание хрома в нержавеющей сталях должно быть не менее 13%, а углерода - минимальным.

Хладостойкость - способность сплава сохранять пластические свойства при минусовых температурах. Основными факторами, влияющими на хладостойкость, являются размеры зерен, структура и химический состав материала.

Мелкозернистые материалы обладают хорошей хладостойкостью. Добавки в стали никеля, ванадия, титана и др. измельчают зерна металла и таким образом улучшают хладостойкость материала.

Теплостойкость - способность сплава сохранять достаточную твердость при высоких температурах. На теплостойкость влияет химический состав материала.

Добавка вольфрама, молибдена, ванадия, кобальта, хрома и т.п. повышает теплостойкость материала. Это является важнейшей характеристикой для материала режущего, штампового и прессового инструмента и поэтому эти материалы содержат вышеуказанные элементы.

Жаростойкость - способность сплава сопротивляться окислению в газовой среде при высоких температурах. Жаростойкость зависит от химического состава стали. Обычно все нержавеющей стали. Обычно все нержавеющей стали являются жаростойкими.

Жаропрочность - способность сплава сохранять механические свойства при высоких температурах. Жаропрочность обеспечивает в основном легирование сплава хромом, молибденом, никелем, ванадием, кобальтом и т.п.

Антифрикционность - способность сплава прирабатываться к другому сплаву при трении.

1.3 Свойства неметаллических конструкционных материалов

К неметаллическим конструкционным материалам относятся пластмассы (термопластичные, терморезистивные и газонаполненные) и резины различных составов.

Пластмассами называют искусственные материалы, получаемые на основе органических полимерных связующих веществ. Эти материалы способны при нагревании размягчаться, становиться пластичными, и тогда под давлением им можно придать заданную форму, которая затем сохраняется.

Резиной называется продукт вулканизации смеси каучука и серы с различными добавками.

Резина как технический материал отличается от других материалов высокими пластическими свойствами, которые присущи каучуку - основному исходному компоненту резины. Она способна к очень большим деформациям, которые почти полностью обратимы.

Свойства таких материалов можно классифицировать следующим образом: механические, физические, химические, технологические и эксплуатационные.

Механические свойства. К механическим свойствам неметаллических материалов, как у металлов, можно отнести: прочность, твердость, относительное удлинение, ударная вязкость. Прочность неметаллических материалов определяется также, как у металлов. По прочности пластмассы подразделяют на три основные группы: низкой, средней и высокой прочности. Прочность определяют на: растяжение, сжатие, изгиб и срез. При испытании на растяжение определяют условный предел текучести. Форма и размеры образцов различны для разных типов пластмасс и изготавливают формованием или металлической обработкой.

Твердость пластических материалов определяют по методу Шорох которой определяют по высоте отскока шарика при ударе.

Относительное удлинение δ определяют также как у металлов, но значение его значительно больше.

Ударную вязкость определяют на образцах 1 в форме брусков прямоугольного сечения, для испытаний из слоистых пластмасс образцы вырезают в двух направлениях - вдоль и поперек.

Физические свойства. К ним относят плотность, диэлектрическая проницаемость, удельное объемное сопротивление, электрическая прочность и тангенс угла диэлектрических потерь, коэффициент теплопроводности и температура размягчения.

Химические свойства. К ним относятся набухаемость в жидкостях, старение, радиационная стойкость и водопоглощение.

Набухаемость - это способность некоторых материалов при длительной выдержке в различных жидкостях.

Старение - это самопроизвольные необратимые изменения важнейших технических характеристик, происходящие в результате сложных химических и физических процессов, развивающихся в материале при эксплуатации и хранении. Причинами старения являются свет, тепло, кислород, озон и другие немеханические факторы.

Радиационная стойкость полимеров характеризуется тем, что при излучении происходит ионизация и возбуждение, которые сопровождаются разрывом химической связи и образованием свободных радикалов.

Технологические свойства. Основными технологическими свойствами пластмасс являются текучесть, усадка, скорость отверждения (реактопластов) и термостабильность (термопластов).

Текучесть - способность материалов заполнять форму при определенных температуре и давлении - зависит от вида и содержания в материале смолы, наполнителя, пластификатора, смазочного материала, а также от конструктивных особенностей пресс-формы. Для ненапол-

ненных термопластов за показатель текучести принимают "индекс расплава" - количество материала, выдавливаемого через сопло диаметром 2,095 мм при определенных температуре и давлении в единицу времени.

Под усадкой понимают абсолютное или относительное уменьшение размеров детали по сравнению с размером полости пресс-формы. В абсолютной величине усадки наибольшую долю составляет разность между температурными коэффициентами материала пресс-формы и материала детали. Величина усадки зависит от физико-химических свойств связующей смолы, количества и природы наполнителя, содержания в нем влаги и летучих веществ, температурного режима переработки и других факторов. Усадку необходимо учитывать при проектировании пресс-формы.

Продолжительность процесса перехода реактопластов из высокоэластичного или вязкотекучего состояния в состояние полной полимеризации определяет скорость отверждения. Скорость отверждения (полимеризации) зависит от свойств связующего (термоактивной смолы) и температуры переработки. Низкая скорость отверждения увеличивает время выдержки материала в пресс-форме под давлением и снижает производительность процесса. Повышенная скорость отверждения может вызвать преждевременную полимеризацию материалов в пресс-форме, в результате чего отдельные участки формирующей полости не будут заполнены пресс-материалом.

Под термостабильностью понимают время, в течение которого термопласт выдерживает определенную температуру без разложения. Высокую термостабильность имеют полиэтилен, полипропилен, полистирол и др. Переработка их в детали сравнительно проста. Для материалов с низкой термостабильностью (полиформальдегид, поливинилхлорид и др.) необходимо предусматривать меры, предотвращающие возможность разложения их в процессе переработки: например, увеличение сечения литников, диаметра цилиндра и т.д.

Эксплуатационные свойства. К ним относятся теплостойкость по Мартенсу и хладостойкость.

Теплостойкость определяется по Мартенсу. Это условный показатель теплостойкости пластмасс; температура, при которой консольный образец, размерами 120x15x10 мм, находясь под действием изгибающего момента, создающего в образце напряжение в 5 МПа и одновременно нагреваемый, в воздушном термостате, с постоянной скоростью 50 °С в час, деформируется так, что связанная с ним стрелка указателя опускается на 6 мм.

Хладостойкость - это способность материала сохранять свои свойства при минусовых температурах.

1.4. Углеродистые стали

Углеродистые стали классифицируются по следующим признакам: по химическому составу, качеству, степени раскисления, назначению.

Классификация по химическому составу. По химическому составу (содержание углерода) стали подразделяются на низкоуглеродистые (менее 0,3 % С), среднеуглеродистые (0,3-0,7%С) и высокоуглеродистые (более 0,7% С).

Классификация по качеству. Качество стали определяется нормой вредных примесей - серы и фосфора. Сера вызывает красноломкость стали - хрупкость при горячей обработке давлением.

Фосфор вызывает хладноломкость - снижение вязкости по мере понижения температуры.

Современные методы выплавки стали не обеспечивают полного удаления серы и фосфора. Количество этих элементов зависит от того, в каком плавильном агрегате сталь получена (конверторе, мартеновской печи, электропечи). Поэтому качество стали определяется способом производства. Наивысшее качество имеет сталь, выплавленная в электропечах, т.е. она содержит небольшое количество серы и фосфора.

Углеродистые стали выпускаются обыкновенного качества, качественные и высококачественные.

Стали обыкновенного качества. Выплавляются в конверторе и мартеновских печах. Это наиболее дешевые стали. В них допускается повышенное содержание вредных примесей (до 0,055 % S и до 0,045 % P), а также газонасыщенность и загрязненность неметаллическими включениями, так как они выплавляются по нормам массовой технологии.

Стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-71) выпускают в виде проката (балки, прутки, листы, уголки, трубы, швеллеры и т.д.), а также поковок. В зависимости от гарантируемых ГОСТом характеристик их поставляют трех групп: А, Б, В.

Стали группы А поставляют с гарантийными механическими свойствами. Химический состав не указывается. Стали этой группы маркируются сочетанием букв "ст" и цифрой (от 0 до 6), показывающей номер марки.

Стали ст 0 - ст 6 группы А используют горячекатаной состоянием для изделий, изготовление которых не сопровождается горячей обработкой.

Стали группы Б поставляют с гарантированным химическим составом (по С, Si, Mn, P). Механические свойства не гарантируются. Принадлежность стали группе Б указывается буквой Б, стоящей в начале марки (Бст 0-Бст 6).

Стали группы В поставляют с гарантированными механическими свойствами и химическим составом. Их широко применяют для производства сварных конструкций. В этом случае важно знать исходные механические свойства стали, так как они сохраняются неизменными в участках, не подвергаемых нагреву при сварке. Для оценки свариваемости нужны сведения о химическом составе.

Стали этой группы выпускают марок Вст I- Вст 5.

Углеродистые стали обыкновенного качества (всех трех групп) применяют для изготовления слабонагруженных деталей машин, когда на выбор стали большое влияние оказывают не столько механические, сколько технологические свойства, прежде всего, свариваемость и способность к холодной обработке давлением. Этим технологическим требованиям в наибольшей степени отвечают стали групп Б и В, номеров 1-4. Стали Ст4 и особенно Ст3 (всех трех групп) широко применяют в сельскохозяйственном машиностроении (валики, оси, рычаги, детали, изготовляемые холодной штамповкой, а также цементуемые детали: шестерни, червяки, поршневые пальцы и т.д.

Качественные стали. Выплавляются также в конверторах и мартеновских печах, однако норма вредных примесей снижена: S - не более 0,04 % P - не более 0,035 %. Они поставляются в виде проката, поковок и других полуфабрикатов гарантированным химическим составом и механическими свойствами.

Качественные стали маркируются двузначными цифрами 05, 08, 10, 15, 20...85, обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента (ГОСТ 1050-74). Например, сталь 10 содержит 0,10 % С, сталь 45 - 0,45 % С и т.п.

Высококачественные стали. Выплавляются в электропечах. Содержание вредных примесей не превышает: S - не более 0,025 %, P - не более 0,025 %, механические свойства более стабильны.

Маркируются высококачественные стали так же, как качественные, однако в конце марки ставится буква "А". Например: 45А. Применяются для изделий ответственного назначения.

Классификация по назначению. По назначению углеродистая сталь классифицируется на конструкционную, инструментальную, автоматную, строительную.

Конструкционная сталь. Это сталь обыкновенного качества, качественная и высококачественная. По назначению конструкционную сталь подразделяют на подгруппы:

1. Стали 05, 08, 10, ст1-ст4, высокопластичные. Из-за способности к глубокой вытяжке их применяют для холодной штамповки различных изделий. Без термической обработки в

горячекатаном состоянии их используют для шайб, прокладок, кожухов и других деталей, изготавливаемых путем холодной деформации и сварки.

2. Стали 15, 20, 25, БСт1-БСт4 - цементуемые, предназначены для деталей небольшого размера (кулачки, толкатели, малонагруженные шестерни и т.д.), от которых требуется твердая износостойкая поверхность и вязкая сердцевина.

3. Среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45, 50, 55 (а также высококачественные 30А - 55А) отличаются большей прочностью, но меньшей пластичностью. Их называют улучшаемыми, т.к. они подвергаются улучшению - закалке с последующим высоким отпуском. После улучшения достигается высокая вязкость, пластичность и, как следствие, малая чувствительность к концентраторам напряжения. Область применения - оси, шатуны, зубчатые колеса, маховики, валы малооборотных двигателей.

Стали 60, 65, 70, 75, 80, 85, а также с повышенным содержанием марганца (60Г, 65Г, 70Г) применяют в качестве рессорно-пружинных. Их используют для силовых упругих элементов - плоских и круглых пружин, рессор, упругих колец и других деталей пружинного типа.

В нормализованном состоянии стали применяют для прокатных валков, шпинделей станков и других крупных деталей.

Инструментальные стали. Углеродистые стали, предназначенные для изготовления инструмента (ГОСТ 1425-74), производят качественными (У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13) и высококачественными (У7А - У13А). Буква У в марке показывает, что сталь углеродистая, а цифра - содержание углерода в десятых долях процента. Так, сталь У9 содержит 0,9% С, сталь У10 - 1,0% С, сталь У11 - 1,1% С и т.д.

Стали У7, У8, обеспечивающие более высокую вязкость, применяют для инструментов, подвергающихся ударам: деревообрабатывающих, слесарных, кузнечных, а также пуансонов, матриц и других инструментов, деформирующих металл.

Стали У9, У10 применяют для режущих инструментов, не подвергающихся сильным толчкам и ударам (мелкие метчики, сверла).

Стали У11, У12, У13 - для инструментов с высокой твердостью на рабочих гранях, работающих при спокойной нагрузке (напильники, пилы).

Автоматные стали. Обработка резанием - основной способ изготовления деталей машин и приборов. С улучшением обрабатываемости стали растет производительность их обработки и уменьшается интенсивность изнашивания режущего инструмента. Особое значение это имеет для массового производства, где широко применяют автоматические линии.

Повышение обрабатываемости резанием достигается преимущественно металлургическими приемами, когда в состав стали вводят элементы, способствующие получению сыпучей, легко отделяющейся стружки (сера, селен, свинец, кальций) и повышающие чистоту обрабатываемой поверхности (фосфор). Подобные стали относятся к так называемым автоматным сталям. В соответствии с ГОСТ 1414-75 их маркируют буквой А (автоматная), присутствие свинца обозначает буква С, кальций - Ц, селена - Е, двузначная цифра после буквы А или АС - среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Автоматные сернистые стали А11, А12, А20, А30, А35, А40Г являются углеродистыми, содержат 0,08 - 0,30 %S и 0,05 - 0,15 % P. они предназначены для крепежных деталей, а также малонагруженных деталей сложной формы.

Автоматным сернистым сталям свойственна анизотропия механических свойств, пониженная вязкость, пластичность и особенно сопротивление усталости в направлении, перпендикулярном прокатке. Поэтому их не применяют для изготовления ответственных деталей машин.

Строительная сталь. При незначительных напряжениях в конструкциях в качестве конструкционной строительной стали применяют сталь, содержащую до 0,25% С. К ним относятся стали БСт0, БСт1- БСт4, ВСт1-ВСт4, 05, 08, 10, 15, 20, 25.

1.5. Влияние постоянных примесей и углерода на свойства сталей

На свойства железуглеродистых сплавов влияет наличие их постоянных примесей (вредных - серы, фосфора, кислорода, азота, водорода; полезных - кремния, марганца и др.). Эти примеси могут попадать в сплав из природных соединений (руд), например, сера и фосфор; из металлического лома - хром, никель и др.; в процессе раскисления - кремний и марганец.

Влияние углерода. Углерод в железуглеродистом сплаве находится главным образом в связанном состоянии в виде цементита. В свободном состоянии в виде графита он содержится в чугунах. С увеличением содержания углерода возрастает твердость, прочность и уменьшается пластичность.

Влияние серы. Сера является вредной примесью. Она образует легко плавкую эвтектику $FeS + Fe$. При кристаллизации сплава легкоплавкая эвтектика располагается по границам зерен и при повторном нагреве расплавляется, в результате чего нарушается связь между зернами, что приводит к образованию трещин и надрывов. Это явление носит название краснотомкости. Допускается содержание серы до 0,06%.

Влияние фосфора. Фосфор растворяется в α - и γ -железе, искажает кристаллическую решетку и ухудшает пластические свойства сплава. Фосфор вызывает явление хладотомкости. Фосфор - вредная примесь, и его содержание в сплавах не должно превышать 0,08 %. В чугуне допускается до 0,3 % P.

Влияние азота, кислорода и водорода. Эти элементы присутствуют в сплавах или в составе хрупких неметаллических включений, например оксидов FeO , SiO_2 , Al_2O_3 , нитридов Fe_4N , или в свободном состоянии, при этом они располагаются в дефектных местах в виде молекулярного и атомарного газов. Неметаллические включения служат концентраторами напряжений и могут понизить механические свойства (прочность, пластичность). Водород поглощается сталью в атомарном состоянии. При охлаждении сплава растворимость водорода уменьшается, и в молекулярной форме он накапливается в микропорах под высоким давлением.

Таким образом, водород может стать причиной образования внутренних надрывов в металле (флокенов).

Влияние кремния и марганца. Кремний и марганец попадают в железуглеродистый сплав при его выплавке в процессе раскисления. Оксиды кремния (SiO_2) связывают закись железа (FeO) в силикаты (FeO , SiO_2) и удаляются вместе со шлаками.

Кремний, растворяясь в феррите, повышает предел текучести и уменьшает склонность к хладотомкости. Кремний способствует графитизации чугуна.

Марганец образует твердый раствор с железом и немного повышает твердость и прочность феррита. В присутствии серы он частично связывается с серой в сернистый марганец и переходит в шлак. При содержании марганца более 1,5 % снижаются пластические свойства стали. В сталях содержится обычно не более 0,4 % Si и 0,8 % Mn.

1.6. Легированные стали и их маркировка

Легированными называют стали, в которых содержатся специально введенные (легирующие) элементы, изменяющие их свойства. К таким элементам относятся: Cr, Ni, Mo, V, Ti и др. Марганец в количестве свыше 1 % и кремний свыше 0,5 % также являются легирующими.

Легирующие элементы в марках стали обозначают буквами: В - вольфрам, Г - марганец, К - кобальт, М - молибден, Н - никель, С - кремний, Т - титан, Ф - ванадий, Х - хром, Ю - алюминий.

Число в начале марки конструкционной стали указывает на содержание углерода в сотых долях процента, цифры после букв - среднее содержание обозначенного этими буквами элемента в процентах. Например, марка 18Х2Н4В с содержанием 0,18 % С, 2 % Cr, 4 % Ni и

около 1% W. Марка 40XH, обозначает сталь со средним содержанием 0,4 C, по одному проценту хрома и никеля.

При маркировке инструментальных и некоторых специальных сталей иногда отходят от этого правила. Например, X12M обозначает сталь с содержанием 1,5% C, 12% Cr, 0,5% Mo.

Некоторые легированные стали выделены в отдельные группы: Ш - шарикоподшипниковые; Р - быстрорежущие; Е - магнитные и др.

Стали, находящиеся в стадии исследования, обозначают буквами ЭИ и условным номером (ЭИ943) и пробные - буквами ЭП и условным номером (ЭП54).

Легированные стали подразделяют на конструкционные, инструментальные и со специальными физическими свойствами.

К конструкционным легированным сталям относятся стали, применяемые для изготовления цементуемых и улучшаемых термообработкой деталей машин, рессор и пружин, шарико- и роликоподшипников, жаропрочные, износо- и коррозионностойкие стали. Эти стали легируют разнообразными элементами - Mn, Ni, Si, Cr, Mo, Ti, Al и др.

К инструментальным относятся стали для режущего, штампового, измерительного инструмента. Эти стали должны обладать высокой твердостью и износостойкостью, поэтому их легируют в основном карбидообразующими элементами - Cr, W, V, Mo и др.

К сталям и сплавам со специальными физическими свойствами относятся магнитные материалы, с высоким электросопротивлением, с заданным коэффициентом линейного расширения, с особыми упругими свойствами. Большинство из них отличаются высоким содержанием никеля, хрома, кобальта и других элементов.

1.7. Чугун, как конструкционный материал

Чугун по составу отличается от стали более высоким содержанием углерода, от 2,14 до 6,68 % C и постоянных примесей и не подлежит к обработке давлением в обычных условиях.

В зависимости от состояния углерода в чугуне различают: белые, серые, ковкие и высокопрочные чугуны.

У белых чугунов весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита Fe₃C. Цементит придает излому специфический белый блеск. Поэтому чугун, в котором весь углерод находится в виде цементита, называют белым. Цементит обладает высокой твердостью и хрупкостью. Поэтому белый чугун невозможно обрабатывать резанием обычными инструментами.

Из-за высокой твердости и хрупкости белый чугун почти не применяют для изготовления деталей машин, если не считать шаров для шаровых мельниц.

Серые чугуны, как и углеродистые стали, также содержат постоянные примеси, но в больших количествах (3 - 3,5 % C, 1,5 - 3 % Si, около 0,5 % Mn, до 0,12 % S и 0,3 - 0,8 % P).

Графит в сером чугуне выделяется в виде пластинок, хлопьев или шариков; основа чугуна может быть ферритной, феррито-перлитной или перлитной (рисунок 1.6 а)

Чугуны с пластинчатым графитом называют обычными серыми. наличие пластинчатых включений графита, представляющих по существу пустоты с острыми надрезами, обуславливает низкие механические свойства серого чугуна. Предел его прочности при растяжении

100 - 450 МПа, относительное удлинение =0,2-0,8%, ударная вязкость не превышает 0,1 МДж/м².

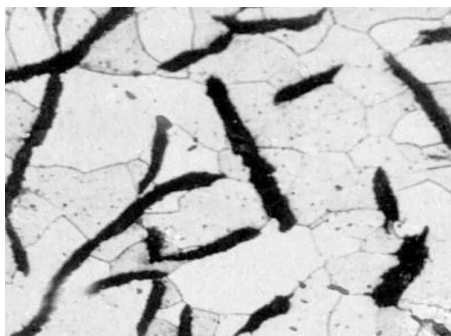


Рисунок 1.6 Микроструктура серого чугуна

Механические свойства чугунов обуславливаются их структурой, определяемой не только химическим составом, но и условиями затвердевания. Поэтому стандарты регламентируют не химический состав чугунов, а их свойства. Эти свойства и указывают в марках. Например, марка серого чугуна С415 обозначает обычный серый чугун (СЧ) с пределом прочности при растяжении 150 МПа.

Ковкие чугуны (рисунок 1.7). получают из белых. Для этого отливки из белого чугуна подвергают длительному отжигу, в результате чего цементит распадается с выделением графита в виде хлопьев. Такие включения в меньшей мере разобщают основу, поэтому ковкий чугун прочнее и пластичнее обычного серого, имеет большую ударную вязкость. Предел прочности его составляет 300 - 630 МПа, относительное удлинение = 2 - 12 %. Это позволяет применять ковкий чугун для изготовления деталей, работающих при умеренных ударных нагрузках. Обозначают ковкие чугуны буквами КЧ, первое число в марке указывает предел прочности при растяжении, второе - относительное удлинение, например КЧ 33-8.

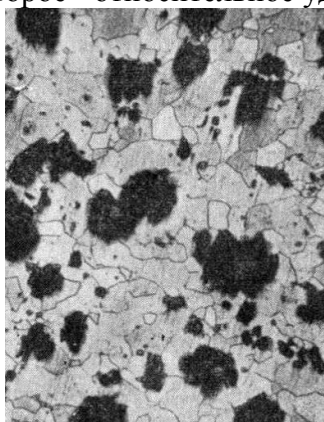


Рисунок 1.7 Микроструктура ковкого чугуна

Высокопрочные чугуны (рисунок 1.8) получают при модифицировании серого чугуна магнием или церием. При этом образуется графит шаровидной формы, исключая острые надрезы в металлической основе. Поэтому механические свойства этого чугуна значительно повышаются: предел прочности при растяжении достигает 1200 МПа, а относительное удлинение составляет 2 - 17 %, а ударная вязкость - 0,2 - 0,6 МДж/м². Такой чугун в ряде случаев является полноценным заменителем стали. Обозначают его буквами ВЧ и числами, имеющими то же значение, что и в марке ковкого чугуна, например ВЧ 80-3.

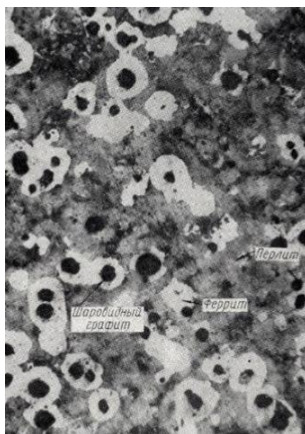


Рисунок 1.8 – Микроструктура высокопрочного чугуна

Чугун по сравнению с другими конструкционными материалами имеет следующие преимущества:

- а) является самым дешевым конструкционным материалом;
- б) обладает лучшими литейными свойствами;
- в) хорошо гасит вибрации;
- г) не чувствителен к надрезам;
- д) хорошо гасит шум;
- е) хорошо обрабатывается резанием;
- ж) обладает отличными антифрикционными свойствами.

К недостаткам можно отнести низкая прочность и высокая хрупкость чугуна.

1.8 Цветные металлы и сплавы

Медь - металл красновато-розовый, кристаллическая ГЦК решетка, полиморфных превращений нет. температура плавления меди - 1083 С, плотность - 8,9 г/см.

Медь обладает технологичностью. Она прокатывается в тонкие листы, ленту, тонкую проволоку; легко полируется, хорошо паяется и сваривается.

Медь характеризуется высокими теплопроводностью и электропроводностью, пластичностью и коррозионной стойкостью.

Сохраняя положительные качества меди, медные сплавы обладают хорошими механическими, технологическими и антифрикционными свойствами. Они обладают высокой коррозионной стойкостью во многих органических кислотах. По химическому свойству медные сплавы подразделяют на две основные группы: латуни и бронзы.

Латунными называются сплавы меди с цинком. Они бывают двойными и многокомпонентными (легированные).

По технологическим свойствам латуни подразделяют на деформируемые (обрабатываемые давлением) и литейные.

Двойные деформируемые латуни маркируют буквой Л (латунь) и цифрой, показывающей среднее содержание меди в процентах. Содержание цинка в марке латуни не указывается и определяется по разности компонентов. Например, в латуни марки Л68 содержится 68 % меди и 32 % цинка.

Бронзами называются сплавы меди со всеми элементами, кроме цинка (который может присутствовать в качестве легирующего элемента). Название бронзам дают по основным элементам. Так, их подразделяют на оловянистые, алюминиевые, бериллиевые, кремнистые и др.

Деформируемые бронзы маркируют буквой Бр (бронза), за которыми следуют буквы, а затем цифры, обозначающие название и содержание в процентах легирующих элементов. Например, Бр ОЦС 4-4-2.5 содержит 4 % олова, 4 % цинка, 2.5 % свинца, остальное - медь. В марках линейных бронз содержание каждого легирующего элемента ставится сразу после

буквы, обозначающей его название. Например, БР06Ц6С3 содержит 6 % олова, 6 % цинка, 3 % свинца, остальное медь.

Алюминий - металл серебристо-белого цвета. Он не имеет полиморфных превращений и кристаллизуется в решетке ГЦК.

Алюминий имеет сравнительно низкую температуру плавления (658 С), малую плотность (2,7 г/см), обладает хорошей теплопроводностью и электропроводностью, высокой пластичностью и коррозионной стойкостью во влажной атмосфере и органических кислотах.

Технический алюминий, выпускаемый в виде деформируемого полуфабриката (листы, профили, прутки и др.), маркируют АД0 и АД1. Ввиду низкой прочности, его применяют для ненагруженных изделий, где требуется легкость, свариваемость, пластичность (рамы, двери, трубопроводы, фольга, посуда и т.д.). Благодаря высокой теплопроводности он используется для различных теплообменников, в промышленных и бытовых холодильниках.

Высокая электропроводность способствует его широкому применению для проводов, кабелей, шин, конденсаторов и т.д.

Алюминиевые сплавы классифицируют по технологии изготовления: деформируемые, литейные, спеченные.

Деформируемые алюминиевые сплавы подразделяются на упрочняемые и неупрочняемые термообработкой. К сплавам, не упрочняемым термообработкой, относятся сплавы АМц (1-1,6 % Mn) и АМг (среднее содержание магния в процентах указывается после буквы Мг), характеризующиеся высокой пластичностью, хорошей свариваемостью и высокой коррозионной стойкостью. Сплавы применяют для изделий, получаемых глубокой вытяжкой, сваркой, от которых требуется высокая коррозионная стойкость (трубопроводы для бензина и масла, сварные баки, заклепки, корпусные детали, рамы вагонов, кузова автомобилей и пр.).

К сплавам, упрочняемым термообработкой, относятся сплавы нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные и т.д.

Литейные алюминиевые сплавы маркируются буквами АЛ, что значит алюминиевый литейный. Лучшими литейными свойствами обладают сплавы Аl - Si (силумины). Высокая жидкотекучесть, малая усадка, трещиноустойчивость, хорошая герметичность. Однако механические свойства двойных силуминов (АЛ2, АЛ4, АЛ93) низкие, и они применяются для неответственных изделий.

Легированный силумин АЛ32 (Al, Si, Mn, Ti) относится к высокопрочным и применяется для литья под давлением нагруженных деталей (блоки цилиндров, головки блоков и другие детали автомобильных двигателей).

Сплавы АЛ19 (Cu, Mn, Ti) и АЛ33 (Cu, Mn, Ni, Zr, Ce) являются жаропрочными. Их рабочая температура 250 - 300 °С.

Магний - легкий металл (плотность 1,78 г/см) серебристо-белого цвета с температурой плавления 650 °С. Кристаллизуется с образованием гексагональной кристаллической решетки. Из-за низких механических свойств как конструкционный материал не применяется. В чистом виде используется в пиротехнике и в металлургии как раскислитель, модификатор, легирующий элемент.

Недостаток магния (и его сплавов) - низкая коррозионная стойкость в атмосферных условиях, однако он противостоит маслам, бензину, нефтепродуктам, плавиковой кислоте, галогенам.

Сплавы магния отличаются низкой плотностью, хорошей обрабатываемостью резанием, способностью воспринимать ударные и гасить вибрационные нагрузки. Достоинством магниевых сплавов является высокая удельная прочность.

Деформируемые сплавы магния маркируются МА. Это сплавы МА5 (Mg, Mn, Zn, Al), МА11 (Mg, Mn, Nd), МА14 (Mg, Zn, Zr), МА19 (Mg, Zn, Zr, Nd). Из них изготавливают детали грузоподъемных машин, автомобилей, ткацких станков, детали самолетов и вертолетов, космических аппаратов и др.

Литейные сплавы магния маркируются МЛ (МЛ5, МЛ6). Это сплавы системы Mg-Al-Zn. Они широко применяются в самолетостроении (корпуса приборов, насосов, коробок передач, двери кабин и др.), ракетной технике (корпуса ракет, топливные и кислородные баки, стабилизаторы), конструкциях автомобилей, особенно гоночных (корпуса, колеса), в приборостроении (корпуса и детали приборов).

Сплавы МЛ11 и МЛ19 являются жаропрочными, их потолочная рабочая температура - 250 - 300 °С.

Титан - металл серого цвета с температурой плавления 1665 С и плотностью 4,5 г/см³. Температура полиморфного превращения - 882 °С.

Отличительными особенностями титана являются хорошие механические свойства, высокая удельная прочность, коррозионная стойкость, способность сохранять высокую прочность не только при температурах 20...25 °С, но и в условиях глубокого холода.

Технический титан ВТ1-0 (до 0,3 % примесей) хорошо обрабатывается давлением. Из него изготавливают все виды прессованного и катаного полуфабриката: листы, трубы, проволоку, поковки. Он хорошо сваривается аргонно-дуговой и точечной сваркой.

Титан плохо обрабатывается резанием, налипает на инструмент, в результате чего тот быстро изнашивается. К недостатку титана относятся также низкие антифрикционные свойства.

Сплавы титана по сравнению с техническим титаном сплавы титана имеют при достаточно хорошей пластичности, высокой коррозионной стойкости и малой плотности более высокую прочность при 20 - 25 °С и повышенных температурах. По сравнению с алюминиевыми и магниевыми сплавами они обладают более высокой удельной прочностью, жаропрочностью и коррозионной стойкостью в таких агрессивных средах, как влажный хлор, морская вода, горячая азотная, соляная, серная и другие кислоты.

Поэтому титановые сплавы получили широкое применение в авиации, ракетной технике, судостроении.

Высокопрочные титановые сплавы маркируются ВТ:ВТ6 (6 % Al, 4 % V), ВТ15 (3 % Al, 3 % Mo, 11 % Cr). Их прочность составляет 600 и 1200 МПа соответственно. Повышенной стойкостью против коррозии обладает сплав АТЗ (3 % Al, 1,5 % Cr); повышенной жаропрочностью (550...650 °С) сплав ВТ8 (6,5 % Al, 3,5 % Mo).

II. ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

2.1. Материалы для производства металлов

В металлургической промышленности для производства металлов применяют руды, топлива, флюсы и огнеупорные материалы.

Руда - это горная порода, содержащие металлы в количествах, обеспечивающих экономную их переработку. В настоящее время целесообразно извлекать металлы из руд, если содержание их в руде составляет: железа не менее 80 %, меди 3...5 %, молибдена 0,005 %. Она состоит из минералов, содержащих металл и его соединений, в виде оксидов, сульфидов, карбонатов.

Руды делятся на богатые и бедные. Бедные руды, с малым содержанием добываемого материала, обогащают различными способами. Не магнитные руды обогащают промывкой руды водой, которой основан на отделении руды от легкой пустой породы. Магнитовые руды обогащают способом магнитной сепарации.

Для улучшения процесса плавки обогащенной руды - концентраты перерабатывают в кусковые материалы агломерацией или окатыванием.

Агломерация заключается в спекании руды в специальных агломерационных машинах. При этом из руды удаляется часть примесей, разлагаются карбонаты и образуется пористый офлюсованный материал- агломерат.

Окатывание заключается в окатывании измельченных концентратов, флюса, топлива в вращающихся барабанах или тарельчатых чашах - грануляторах. После чего они приобретают форму шариков-окатышек диаметром до 30 мм. Готовые окатыши высушивают и обжигают при высоких температурах.

Флюсом называют материалы, образующие при плавке шлак - легкоплавкое соединение с пустой породы руды, золой топлива и другими неметаллическими включениями. Шлак обладает меньшей плотностью, чем выплавляемый металл, поэтому он располагается над жидким металлом и защищает его от окисления.

Топливом служит кокс, природный, доменный или коксовый газ и мазут.

Кокс получают путем нагрева коксующихся каменных углей в герметичных контейнерах, без доступа воздуха, при температуре 1 000 - 1 100 С. из угля извлекаются бензол, фенолы, а также улавливается коксовый газ.

Природный газ состоит в основном из металла CH_4 .

Доменный газ является побочным продуктом при выплавке чугуна в доменной печи, содержит значительное количество горючих составляющих.

Мазут - тяжелый остаток перегонки нефти, содержит до 88 % С, 10...12 % Н и большое количество кислорода и серы.

Огнеупорные материалы применяют для внутренней футеровки нагревательных и плавильных печей и других агрегатов. Они делятся на кислые, основные и нейтральные.

К кислым огнеупорным материалам относятся диносовый кирпич, кварцевый песок и другие материалы с высоким содержанием кремнезена SiO_2 . К основным - донолитовые, магнезитовые и другие материалы с большим содержанием основных оксидов MgO , CaO . Нейтральные огнеупорные материалы содержат в основном Al_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO и др.

2.2. Способы производства металлов из руд

Для производства металлов из руд применяют следующие способы: пирометаллургический, электрометаллургический, гидрометаллургический, химико-металлургический и порошковая металлургия.

Пирометаллургический способ является одним из древних способов получения металлов, основанный на том, что необходимое для выплавки металла тепло обеспечивается сжиганием топлива. Этим способом получают, в основном, железа и его сплавов, меди и другие металлы.

Электрометаллургический способ основан на получении тепла для выплавки металла электрической энергией и поэтому делятся на электродуговые, индукционные печи, печи электросопротивления, а также электролизные агрегаты, которые получают алюминий из глинозема.

Гидрометаллургический способ заключается в выщелачивании металлов из руд различными растворителями и в последующем выделении их из раствора. Выщелачивание может осуществляться как на поверхности земли, так и под землей с помощью системы скважин. Этим способом получают медь, уран и другие металлы.

Химико-металлургический способ объединяет химические и электрометаллургические процессы, например, титан получают путем восстановления тетрахлорида титана TiCl_4 магнием и последующей плавкой в электродуговых печах.

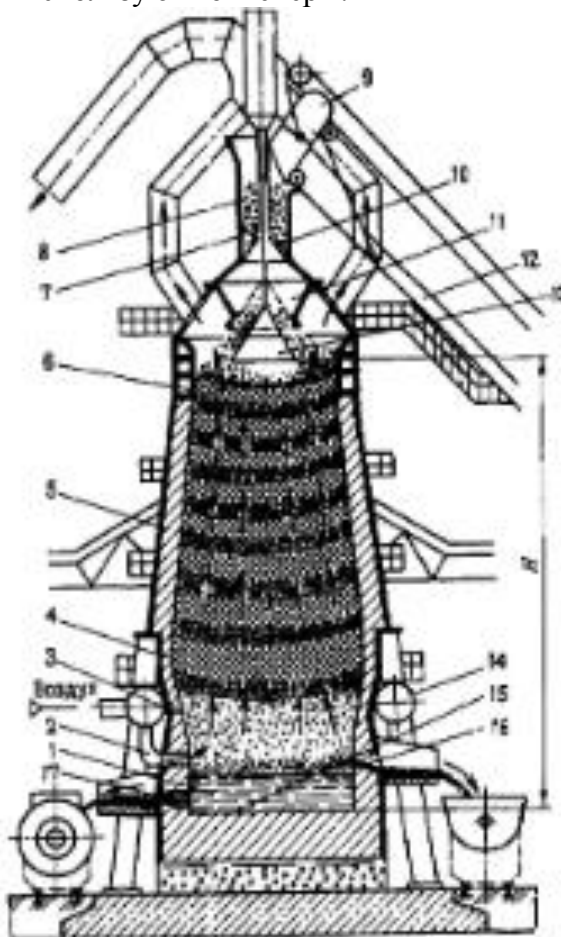
Порошковая металлургия. Этим способом получают детали из металлических порошков спеканием. Металлические порошки получают из руды и отходов производства - окалины, стружки и других отходов.

2.3. Производство чугуна

Чугун выплавляют в доменных печах. Современная доменная печь высотой до 35 м с полезным объемом до 5 000 м выложенной из огнеупорного кирпича и облицованной листо-

вой стали толщиной до 35 мм, с вспомогательным оборудованием представляет сложнейшее инженерное сооружение.

В домну загружают шихту - смесь определенного соотношения руды, топлива и флюсов. Отдельные порции шихты называют колошами. Колоши из бункера 1 подаются вагонетками 2 по подъемнику 8 в приемную воронку 9 засыпного аппарата (рисунок 2.1). В новостроящихся доменных печах используют конвейеры.



2.1 Устройство доменной печи

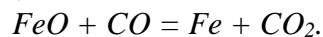
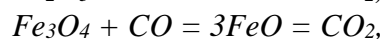
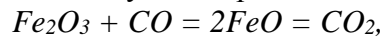
При опускании малого конуса 10 шихта попадает в чашу 11 и при опускании большого конуса 12 - в колошник 13 и дальше в шахту 14 печи, что предотвращает выход газов из доменной печи в атмосферу. Шихта загружается в домну периодически по мере сгорания топлива и выпуска чугуна и шлака.

Широкая цилиндрическая часть домны называется распар 7, ниже его находится заплетка 6 и горы 4, ограниченной 19. В нижней части горна располагается лоток для выпуска жидкого шлака 18 и чугуна 3.

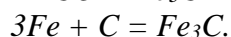
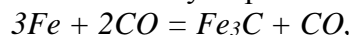
Через фурменные устройства 5 в печь поступает нагретый воздух, необходимый для горения топлива. Расход воздуха на выплавку 1 т. чугуна в доменных печах составляет до 7 000 м³/мин. Воздух поступает в доменную печь из воздухонагревателей регенераторного типа. Регенератор представляет собой футерованный кирпичом стальной цилиндр диаметром 6 - 8 м и высотой 30 - 40 м, имеющий внутри камеру сгорания 15 и насадку 20 из огнеупорного кирпича. Каждая доменная печь имеет 3 - 4 регенератора.

В регенератор Б подается через отверстие 17 очищенный колошниковый газ и через отверстие 16 необходимый для сгорания газа воздух. Продукты горения газа из камеры 15 проходят по каналам насадки 20, нагревают ее и уходят через отверстие 21 в дымовую трубу 22. Когда насадка регенератора Б достигнет определенной температуры, подачу газа в него прекращают и в обратном направлении в доменную печь. Пока один из регенераторов нагрева-

ется, работает другой, предварительно нагретый регенератор. В близи фурм кокс взаимодействуя с кислородом воздуха, сгорает, в результате чего температура в этой зоне достигает 1800...2000 °С. Газовый поток содержащий CO, CO₂, N₂, H₂, CH₄ и др. поднимаясь, отдает теплоту шихтовым материалам и нагревает их, охлаждаясь до температуры 300...400 °С у колошника. Шихта опускается на встречу потоку газов, а при температуре 800...900 °С начинается восстановление оксидов железа по следующим реакциям:



Часть оксида железа (II) опускается до распада заплечиков, который восстанавливается углеродом кокса, в результате чего получается зубчатое железо. В температурных интервалах 1000...1100 °С. получается губчатое железо науглероживается по реакциям:



Углерод понижает температуру плавления железоуглеродистого сплава, до 1147 °С при содержании углерода 4,3 % С, опускается в нижнюю часть шахты, сплав начинается, насыщается углеродом и другими элементами, восстанавливаемыми из руды и топливо - марганцем, фосфором, серой, кремнием и др.

Таким образом, в результате восстановления железа, марганца, фосфора, серы и кремния и их растворение в железе в горне печи образуется чугун.

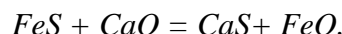
Кремний содержится в пустой породе в виде SiO₂, также частично восстанавливается твердым углеродом и растворяется в железе, другая часть SiO₂ переходит в шлак.

Марганец содержится в руде в виде MnO₂, Mn₂O₃, Mn₃O₄, которые восстанавливаются до MnO, взаимодействуя с углеродом, образует карбид марганца MnC. Карбид марганца растворяется в железе, повышая содержание марганца и углерода в железе, другая часть MnO переходит в состав шлака.

Кремний содержится в руде в виде кремнезема SiO₂, частично восстанавливается твердым углеродом, часть растворяется в железе, а другая часть переходит в состав шлака.

Фосфор содержится в руде в виде соединений (FeO)₃P₂O₅ и (CaO)₃P₂O₅. Эти соединения свыше 1000 °С восстанавливаются оксидом углерода и твердым углеродом с образованием фосфида железа и почти полностью переходит в состав чугуна.

Сера содержится в коксе и в руде в виде соединений Fe₂S₃, FeS, CaSO₄. Летучая часть их удаляется с газом, а часть в виде серы и сульфида железа FeS растворяется в чугуне, другая часть серы в виде CaS удаляется в шлак



Таким образом, в результате восстановления оксидов железа, марганца, кремния, фосфора и серы и их растворения в железе образуется чугун, а в результате сплавления оксидов кальция, магния и алюминия и пустой породы и золы топлива образуется шлак. Шлак скапливается, в горне, на поверхности жидкого чугуна.

Шлак выпускают из горна через каждые 1...1,5 ч по летке 18, а чугун - через 3...4 ч по летке 3.

Продукты доменного производства делятся на основные и побочные. к основным продуктам относятся: передельный, литейные чугуны и ферросплавы, а к побочным - доменный газ и шлак.

Передельный чугун - передела его в сталь в конверторах или мартеновских печах. Его транспортируют в ящиках с доменного цеха в конвертерный участок. Он содержит 4...4,4 % С, до 0,6...0,8 % Si, до 1,0 % Mn, 0,15...0,3 % P и 0,03...0,07% S.

Литейный чугун выпускают в виде чушек и используют на машиностроительных предприятиях в качестве шихты при производстве отливок. Литейные чугуны отличаются повышенным содержанием кремния до 2,75...3,25 %.

Ферросплавы - сплавы железа с повышенным содержанием других элементов, например, ферросилиций, ферромарганец, ферротитан и т.п. предназначены для раскисления и легирования стали в металлургии и в литейных цехах машиностроительных предприятиях.

Доменный газ, образующийся в печи в золе колошника отводится по трубам и используется в качестве топлива для нагрева регенераторов.

Шлак используется для производства шлакоблоков, цемента и шлаковаты, как теплоизоляционные материалы.

Технико-экономическими показателями работы доменной печи являются коэффициент использования полезного объема печи:

$$K.И.П.О. = \frac{V}{P}, \text{ м}^3/\text{т},$$

где: V - полезный объем печи, м^3 , P - средняя суточная производительность печи, т, он составляет 0,5...0,7.

Удельный расход кокса K :

$$K = \frac{A}{P}, \text{ т/т},$$

где: A - расход кокса за сутки, т; P - средняя суточная производительность печи, т.

Стоимость кокса составляет около 50 % стоимости чугуна.

Доменная печь значительного расхода кокса, флюсов и электроэнергии для подачи сжатого воздуха для дутья. Поэтому, наряду с выплавкой чугуна в доменных печах все более широко используют экономичные процессы прямого восстановления железа из руд с последующей его плавкой в электропечах для получения стали. Руду обогащают и получают окатыши, которые из бункера 1 по грохоту 2 поступают в короб 10 шихтозавалочной машины и оттуда в шахтную печь 9. Просыпь от окатышей из грохота 2 попадает в буфер 3 с брикетировочным процессом в виде окатышей вновь.

2.4. Способы производства стали

Сталь отличается от чугуна меньшим содержанием углерода и постоянных примесей. Основными исходными материалами для производства стали являются передельный чугун и стальной лом.

Сущностью передела чугуна в сталь является снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак.

Способы получения стали делятся на производство стали в кислородных конвертерах, мартеновских и электрических печах.

Кислородный конвертер представляет собой грушевидный сосуд 1 (рисунок 2.2) из стального листа, футерованный основным кирпичом 2. Вместимость конвертера составляет 150...350 т. жидкого чугуна. Конвертер может поворачиваться вокруг горизонтальной оси на 360° для завалки скрапа, заливки чугуна, слива стали и чугуна.

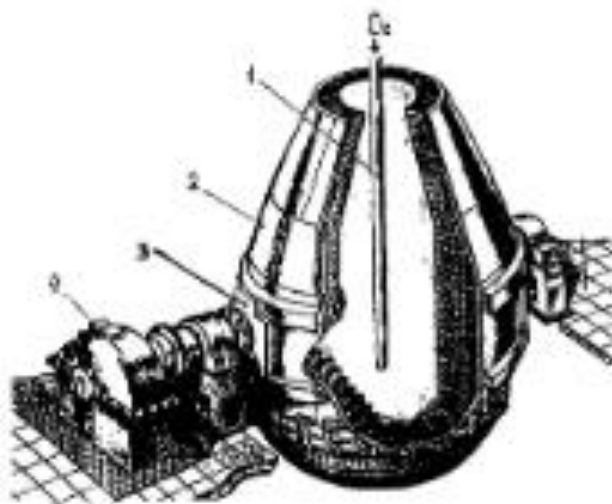


Рисунок 2.2 Кислородный конвертер

Шихтовыми материалами кислородно-конверторного процесса являются жидкий передельный чугун, стальной лом, известь для наведения шлака, железная руда, а также оксид - Al_2O_3 , плакировый слой - CaF_2 , которые применяют для разжижения шлака.

Перед началом работы конвертер поворачивают на 5° вокруг горизонтальной оси и загружают до 30 % от объема металлолома, затем заливают передельный жидкий чугун при температуре 1250-1400 $^\circ C$, возвращают конвертер в исходное вертикальное положение, вводят кислородную форму, подают кислород и шлакообразующие материалы.

При продувке кислорода происходит окисление углерода и других примесей. Струи кислорода вызывают циркуляцию в конверторе и температура в зоне под фурмой достигает до 2400 $^\circ C$. В первую очередь окисляется железо с образованием FeO и одновременно образуется активный шлак, благодаря чему происходит удаление серы и фосфора с образованием устойчивых соединений P_2O_5 , $3CaO$ и CaS в шлаке.

Когда содержание углерода в стали достигает заданного значения для выплавляемой марки стали, подачу кислорода прекращают, конвертер поворачивают и выливают сталь в ковш. При выпуске стали из конвертера ее раскисляют в ковше ферромарганцем, ферросилицием и алюминием, а затем из конвертера сливают шлак.

Плавка стали в кислородных конвертерах заканчивается через 25...50 мин, в зависимости от объема. Производительность достигает до 400...500 т/ч по сравнению с мартеновскими и электрическими печами она превышает 80 т/ч.

В кислородных конвертерах невозможно выплавлять стали, содержащие легкоокисляемые легирующие элементы, поэтому в них выплавляют, в основном, углеродистые кипящие, спокойные и низколегированные стали. Легирующие элементы вводят в ковш, расплавленные предварительно в электропечи, или твердые ферросплавы вводят в ковш перед выпуском в него стали.

Мартеновская печь представляет собой регенеративную отражательную печь, а температура до 1800 $^\circ C$ достигается за счет сгорания газа над плавильным пространством. Она имеет рабочее пространство, ограниченное снизу подиной 12 (рисунок 2.3), сверху сводом 11, а с боков передней 5 и задней 10 стенками.

Футеровка печи может быть основной и кислой. Основную мартеновскую печь футеруют магнезитовым кирпичом, кислую диносовым кирпичом, а подину набивают из кварцевого песка. В передней стенке печи имеются загрузочные окна 4 для подачи шихты, а в задней - отверстие 9 для выпуска жидкой готовой стали.

Головки печи 2 служат для смешивания топлива-мазута или газа с воздухом и подачи этой смеси в плавильное пространство.

Газ и воздух проходят через предварительно нагретые до температуры 1250 °С регенераторы 1. Регенератор - это камера, в которой размещена насадка - огнеупорный кирпич, выложенный в клетку. Отходящие из печи газы с температурой 1600 °С, попадая в регенераторы, нагревают насадку. Отходящие газы проходят через противоположную головку, очистные устройства, служащие для отделения от газа частиц шлака и пыли, и направляются во второй регенератор, нагревая его насадку. Охлажденные газы выходят в атмосферу через дымовую трубу 8. После охлаждения насадки правого регенератора переключают клапаны и поток газов в печи изменяет направление, через нагретые левый регенератор и головку в печь поступает воздух, а правый нагревается теплотой отходящих газов.

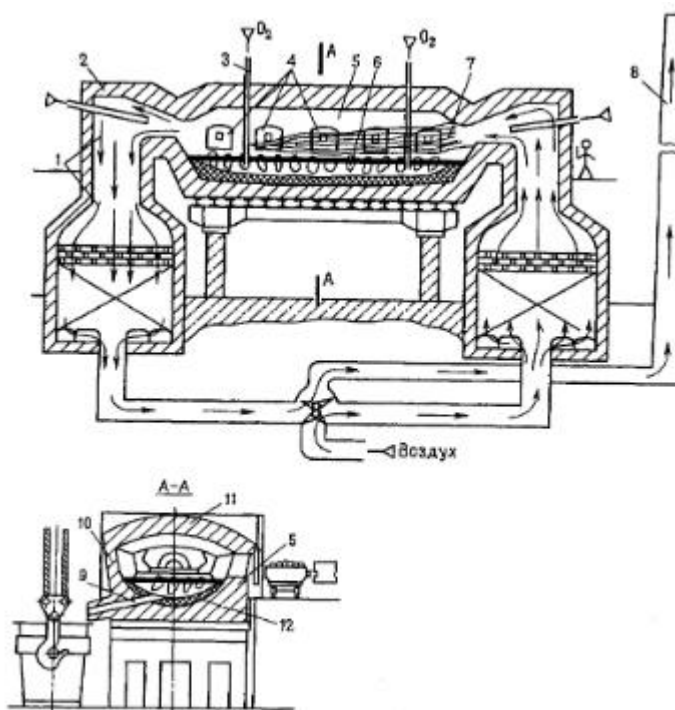


Рисунок 2.3 Схема мартеновской печи

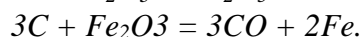
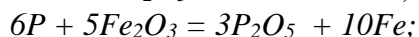
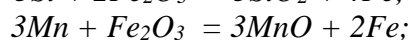
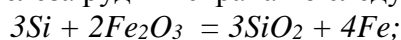
В зависимости от состава шихты, используемой при плавки мартеновские печи делятся на: а) скрап-процесс и б) скрап-рудной процесс.

Скрап-процесс применяют в литейных цехах машиностроительных заводов, не располагающих жидким чугуном. В качестве шихтовых материалов используют стальной лом и 25 - 45 % литейного чугуна.

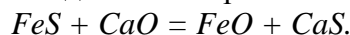
Скрап-рудный процесс применяют в металлургических комбинатах, где имеются доменное производство. В качестве шихты используют предельный жидкий чугун с добавлением до 30 % стального лома и железной руды.

Флюсом в обоих процессах обычно служит известняк $CaCO_3$.

Широкое применение в металлургии находит скрап-рудный процесс выплавки стали в основной мартеновской печи. В печь загружают предварительно нагретую железную руду и известняк, затем добавляют стальной лом - скрап и заливают жидкий чугун. примеси в чугуне окисляются за счет оксидов железа руды и скрапа по следующим реакциям:



Сера удаляется в результате взаимодействия сернистого железа с известью:



Оксиды SiO_2 , P_2O_5 , CaO , MnO , а также сульфид кальция CaS образует шлак.

С целью сокращения длительность процесса, и уменьшения расхода топлива, ванну продувают кислородом.

После плавления шихты начинается период кипения ванны, при котором интенсивно окисляется углерод в металле, количество серы и фосфора уменьшается до минимума и, когда содержание углерода достигает заданного, кипение прекращают и начинают раскисление стали в ванне печи ферромарганцем, ферросилицием и алюминием.

Производство стали в электропечах. Плавильные электропечи обладают рядом преимуществ по сравнению с другими плавильными агрегатами. Быстрый нагрев и поддержание заданной температуры в пределах до $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ возможность создания окислительной или нейтральной атмосферы, а также вакуума, позволяет выплавлять в электрических печах стали и другие сплавы с минимальным количеством вредных примесей и отличающихся высоким качеством.

Электрические плавильные печи подразделяют на дуговые и индукционные.

Дуговая сталеплавильная печь (рисунок 2.4) представляет собой цилиндр 4 со сферическим днищем, футерованный внутри огнеупорным кирпичом 1. Печь питается трехфазным переменным током и имеет три цилиндрических электрода 6 из графита. Между электродами и металлической шихтой 3 возникает электрическая дуга, электроэнергия превращается в теплоту, которая передается металлу и шлаку излучением. На электроды подается ток напряжением $160\text{...}600\text{ В}$ и силой $1\text{...}10\text{ кА}$. Длина дуги регулируется автоматически путем вертикального перемещения электродов. В стенке корпуса имеется загрузочное окно 7 и отверстие со сменным желобом 2. Сверху печь имеет свод 5 с отверстиями для электродов.

Сталь выплавляют в основных электропечах с окислением и без окисления примесей. Шихтой служит стальной лом, литейный чугун, кокс для науглероживания и извести. Плавка состоит из окислительного и восстановительного периодов.

В окислительном периоде кремний, марганец, железо и углерод окисляются кислородом, поступающим из воздуха, оксидов шихты и окалина, которые переходят в шлак. Благодаря наличию оксида кальция связывается и удаляется фосфор.

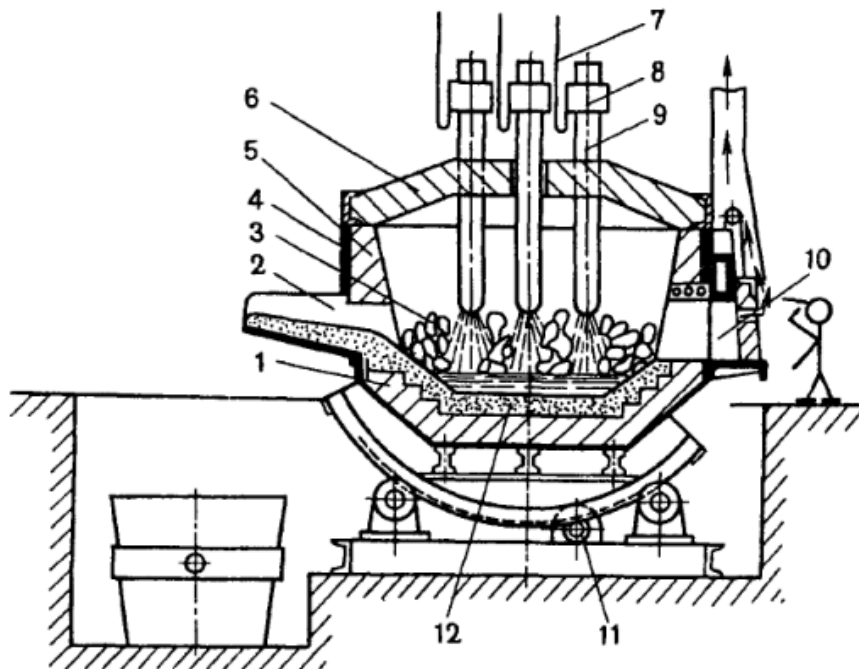
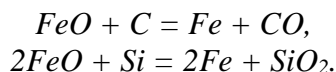


Рисунок 2.4. Дуговая сталеплавильная печь

В восстановительном периоде сталь раскисляют, удаляют серу и доводят содержание компонентов до заданного. Для этого в печь подают известь, шпалевой шпат, ферросилиций и молотый кокс. Кокс и ферросилиций восстанавливают оксид железа по реакциям:



Плавка без окисления применяется для получения легированной стали из скрапа их отходов. По сути плавка без окисления сводится к переплаву шихты, хотя в процессе плавки не исключено и окисление некоторых примесей.

Электроиндукционная печь (рисунок 2.5) состоит из водоохлаждаемого индуктора 3 и тигля 2 с крышкой заключенных в корпусе 5. Через индуктор от генератора высокой частоты проходит однофазный переменный ток высокой частоты 500 2000 кГц. При этом образуется магнитный поток, который наводит в металлической шихте 3 мощные вихревые токи, нагревающие шихты до расплавления.

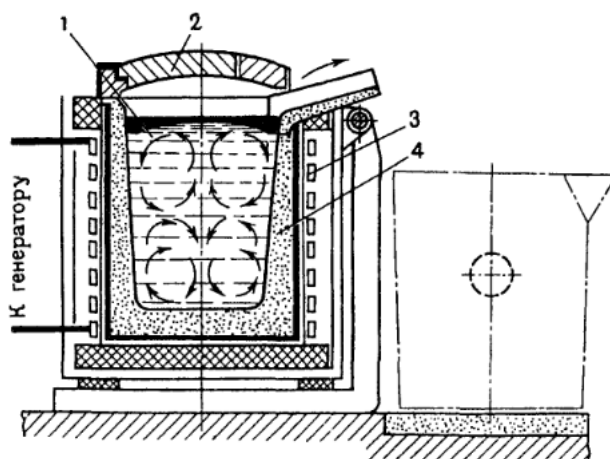


Рисунок 2.5 Электроиндукционная печь

Индукционные печи по сравнению с дуговыми обладают следующими преимуществами:

- а) в жидком металле возникают электродинамические силы, которые перемешивают расплав, способствует выравниванию химического состава и всплытию на верх неметаллических включений;
- б) отсутствие дуги позволяет выплавлять металлы с малым содержанием углерода и газов;
- в) индукционные печи имеют небольшие размеры, что позволяет помещать их в специальные камеры и создавать любую атмосферу.

2.5. Способы разливки стали

Выплавленную в плавильной печи сталь выпускают в разливочный ковш, из которого ее разливают в изложницы. В изложницах сталь затвердевает, и получают слитки, которые подвергают прокатке и ковке.

Изложницы представляют собой чугунные формы для получения слитков различного сечения. Масса слитков для прокатки обычно составляет 10...12 т, а для поковок 250...300 т. Легированные стали иногда разливают в слитки массой в несколько сот килограммов.

Сталь разливают в изложницы двумя способами: сверху и снизу (сифоном).

При разливке сверху (рисунок 2.8, а) сталь заливают из ковша 2 в каждую изложницу 1 отдельно, при этом на стенках изложницы, в следствие попадания брызг жидкого металла образуется слой, загрязненный пленками оксидов. Для прокатки необходимо очистить этот слой, что увеличивает трудоемкость.

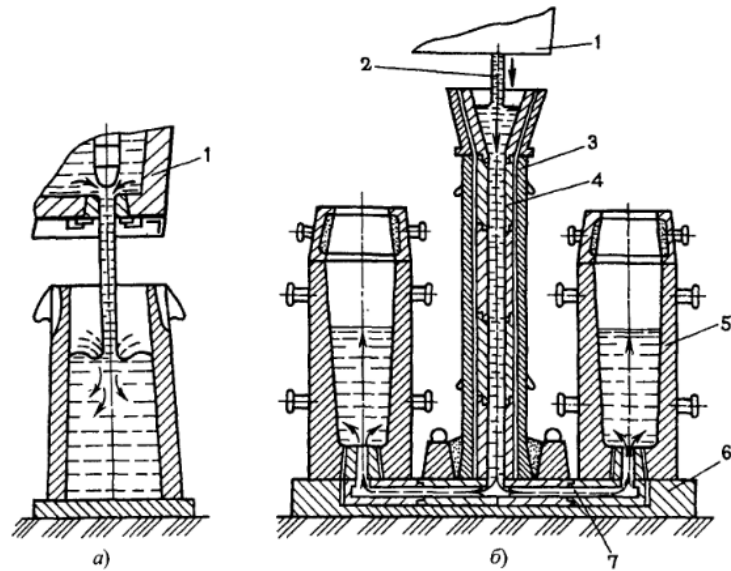


Рисунок 2.6. Способы разливки стали в изложницы: а - сверху; б - снизу

При сифонной разливке (рисунок 2.6, б) сталью заполняют одновременно от 2-х до несколько десятков установленных на поддоне 5 изложниц через литник 3 и каналы в поддоне. Сталь, поступающая в изложницы снизу, обеспечивает плавное, без разбрызгивания заполнение их и поверхность слитка получается чистой. Сталь в подставке 4 сохраняется в жидком состоянии благодаря чему уменьшаются объем усадочной раковины и отходы при обрезке.

Разливку сверху обычно применяют для углеродистых, а разливку снизу - для легированных сталей. Разливка снизу обладает недостатком в том, что после затвердевания стали остаются отходы, заполненные на центральной литниковой системе и каналы, которые соединяют литника с изложницами.

Непрерывная разливка стали. Этот способ разработан еще в 50-годы российскими учеными и до сих пор считается передовой технологией в металлургии. Установка непрерывной разливки стали (УНРС) - сложное инженерное сооружение и состоит из водоохлаждаемой чаши 5 и водоохлаждаемой изложницы без дна - кристаллизатора 4, валков для протягивания заготовки и установки для газовой резки (рисунок 2.7)

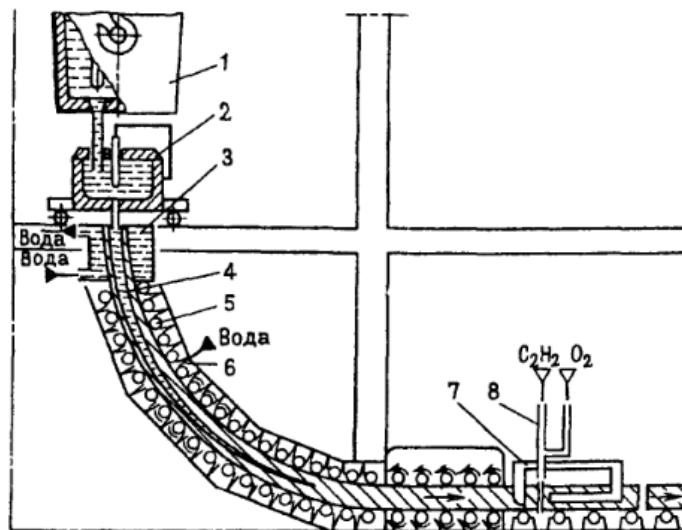


Рисунок 2.7. Схема установки для непрерывной разливки стали.

Жидкую сталь из ковшов через промежуточные чаши 5 непрерывно заливают сверху в водоохлаждаемый кристаллизатор 4, а из нижней его части вытягивают со скоростью 1...2,5 м/мин с помощью валков затвердевающий бесконечный слиток.

На выходе из кристаллизатора слиток охлаждается водой из форсунок. Затем затвердевший слиток попадает в зону резки 7, где он разрезается на мерные заготовки заданной длины. Этим способом отливают слитки с прямоугольным поперечным сечением от 150 X 500 до 300 X 2000 мм и с квадратным сечением от 150 X 150 до 400 X 400 мм, круглые в виде толстостенных труб и т.п. Вследствие принудительного затвердевания и непрерывного питания при усадке, слитки непрерывной разливки имеют мелкозернистую структуру, плотное строение, а главное отсутствует усадочные раковины. Выход годных заготовок достигает до 96...98 %, а в слитках сифонной или сверху разливки она не превышает 80 %.

В развитых странах этим способом разливают около 80 % производимой стали, у нас она едва достигает до 12 %.

2.6. Строение стальных слитков

Жидкая сталь в изложнице отдает теплоту ее стенкам, где начинается кристаллизоваться у стенок изложницы. Между сердцевинной слитков и твердой коркой металла располагается зона, в которой одновременно имеются растущие кристаллы и жидкий металл между ними.

Сталь кристаллизуется в виде древовидной формы - дендритов. Размеры и форма дендритов зависят от условий кристаллизации, а строение слитка не только условиями охлаждения, но от степени раскисления. Поэтому признаку стали делятся на спокойные, полуспокойные и кипящие.

Спокойная сталь (рисунок 2.8 а) раскислена кремнием, марганцем и алюминием и затвердевает без выделения газов. В верхней части слитка образуется усадочная раковина I, а в средней - усадочная осевая рыхлость. Строение слитка из спокойной стали состоит из тонкой наружной корки А, состоящей из мелких равноосных кристаллов, крупных столбчатых дендритов Б, зоны крупных неориентированных кристаллов В и конуса осаждения Г - мелкокристаллическую зону у донной части слитка. Перед прокаткой необходимо отрезать верхнюю с усадочной раковиной и донную часть, что значительно уменьшает выход годного металла.

По качеству спокойная сталь среди сталей занимает первое место, а по себестоимости последнее.

Кипящую сталь (рисунок 2.8 б) раскисляют только алюминием, ее раскисление, продолжается в изложнице за счет взаимодействия FeO с углеродом. Образующийся при этом оксид углерода CO выделяется из стали, что создает впечатление "кипения" жидкого металла. Углерод, сера и фосфор потоком металла выносятся в верхнюю часть слитка, отчего свойства стали в этой части слитка ухудшаются. Поэтому при прокатке отрезают только верхнюю часть слитка.

Слиток кипящей стали имеет следующее строение: плотную наружную корку А без пузырей, из мелких кристаллов; зоны сотовых пузырей Б, вытянутых к оси слитка ориентированных кристаллов, промежуточную плотную зону С, зону вторичных круглых зорей К и среднюю зону Д с отдельными пузырями.

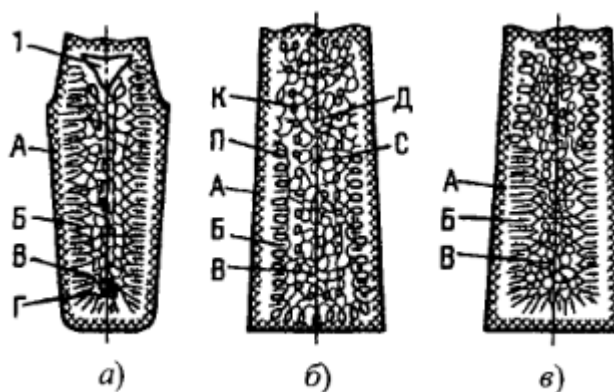


Рисунок 2.8. Схема строения стальных слитков.
а - спокойная, б - кипящая и в - полуспокойная

Кипящая сталь самая дешевая из этой группы сталей, но по свойствам уступает полуспокойным и спокойным сталям.

Благодаря меньшей концентрации примесей, (Mn, Si) кипящей стали обладает повышенной пластичностью. Поэтому из листовой кипящей стали изготавливают кузовные детали бытовых приборов и т.п., которые изготавливаются методом штамповки.

Полуспокойная сталь (рисунок 2.8 в) раскисляется алюминием и марганцем (или кремнием). Слиток полуспокойных сталей имеет в нижней части строения спокойной стали, а в верхней - кипящей.

Полуспокойные стали, по свойствам и себестоимости играют промежуточный роль.

2.7. Способы повышения качества стали

Растущая потребность в высококачественной техники предъявляет особые требования к качеству металла: улучшение прочности, пластичности и других свойств можно достигать уменьшением в металле вредных примесей, газов и неметаллических включений. Для повышения качества стали используют следующие способы: обработка жидкой стали синтетическим шлаком, вакуумирование жидкого металла, электрошлаковый переплав и др.

Обработка металла синтетическим шлаком заключается в следующем. Синтетический шлак, состоящий из 55 % CaO , 40 % Al_2O_3 , небольшого количества MgO , SiO_2 и FeO , выплавляют в электропечи и заливают в предварительно нагретый ковш. Затем заливают сталь, при этом шлак перемешиваясь в стали всплывает на поверхность прихватывая с собой неметаллические включения. После такой обработки сталь содержит меньше серы, кислорода и других неметаллических включений.

Вакуумирование жидкой стали проводят для уменьшения содержания в металле газов и неметаллических включений. С этой целью ковш с жидкой сталью помещают в камеру, закрывающуюся герметичной крышкой. Вакуумными насосами в камере создается разрежение, в течении 10...15 мин., до остаточного давления 265...660 Па. При этом водород и азот всплывают и удаляются из камеры, прихватывая с собой неметаллические включения, которые переходят в состав шлака, в результате чего содержание их в стали снижается.

Электрошлаковому переплаву (ЭШП) подвергают выплавленный в дуговой печи и прокатанный на круглые прутки металла или литейную заготовку в качестве расходного электрода 1 (рисунок 2.11). Источником теплоты при ЭШП является шлаковая ванна, нагреваемая при прохождении через сварочного тока.

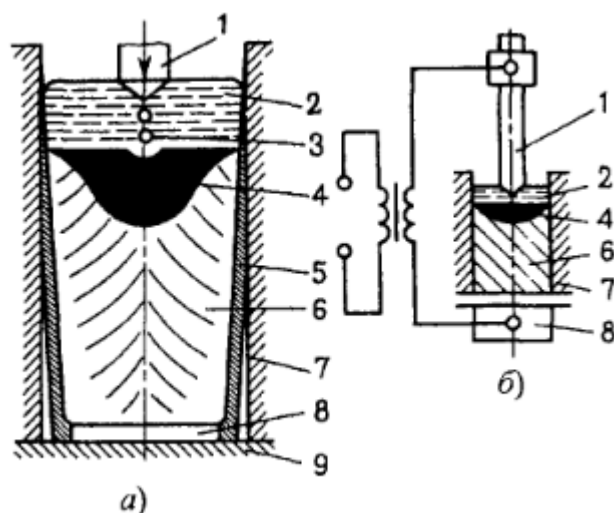


Рисунок 2.9 Схема электрошлакового переплава.
а – кристаллизатор, б – схема включения установки

Ток подводится к расходуемому электроду 1, погруженному в шлаковую ванну 2 и к поддону 8, установленному на водоохлаждаемом металлическом кристаллизаторе 7. Выделяющаяся теплота в шлаковой ванне, вызывает опрвление конца электрода. Капли жидкого металла проходят через шлак, образуя под шлаковым слоем металлическую ванну 4, где формируется слиток 6.

С кристаллизации металла при ЭШП происходит последовательно и направлена снизу в верх, что способствует удалению серы, неметаллических включений и растворенных в металле газов, получению плотного однородного слитка.

Благодаря принудительному охлаждению образуется мелкозернистую структуры с высокими механическими свойствами. ЭШП широко применяют при выплавке высококачественных сталей для шарикоподшипников, инструментальные и жаропрочные стали и сплавы.

Кроме указанных способов повышение качества стали применяют еще Вакуумно-дуговой переплав (ВДП), плавку в электронно-лучевых печах, а также в плазменно-дуговых печах.

2.8 Производство цветных металлов

Производство меди. Для производства меди применяют медные руды, содержащие 1...6% Cu , а также отходы меди и ее сплавов. В рудах медь обычно находится в виде сернистых соединений ($CuFeS_2$, Cu_2S , CuS), оксидов (Cu_2O , CuO) или гидрокарбонатов ($CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$, $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$). Перед плавкой медные руды обогащают и получают концентрат. Для уменьшения содержания серы в концентрате его подвергают окислительному обжигу при температуре 750...800 °С.

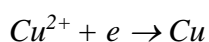
При пирометаллургическом способе полученный концентрат переплавляют в отражательных или электрических печах. При температуре 1250-1300 °С восстанавливаются оксид меди (II) (CuO) и высшие оксиды железа. Образующийся оксид меди (I) (Cu_2O), реагируя с FeS , дает Cu_2S . Сульфиды меди и железа сплавляются и образуют штейн, а расплавленные силикаты железо растворяют другие оксиды и образуют шлак. Затем расплавленный медный штейн заливают в конвертеры и продувают воздухом (конвертируют) для окисления сульфидов меди и железа, перевода образующихся оксидов железа в шлак, а серы в SO_2 и получения черновой меди. Черновая медь содержит 98,4...99,4 % Cu и небольшое количество примесей. Эту медь разливают в изложницы.

Черновую медь рафинируют для удаления вредных примесей и газов. Сначала производят огневое рафинирование в отражательных печах. Примеси S , Fe , Ni , As , Sb и другие

окисляются кислородом воздуха, подаваемым по стальным трубкам, погруженным в расплавленную черновую медь. Затем удаляют газы, для чего снимают шлак и погружают в медь сырое дерево. пары воды перемешивают медь и способствуют удалению SO_2 и других газов. При этом медь окисляется и для освобождения ее от Cu_2O ванну жидкой меди покрывают древесным углем и погружают в нее деревянные жерди. При сухой перегонке древесины, погруженной в медь, образуются углеводы, которые восстанавливают Cu_2O .

После огневого рафинирования получают медь чистотой 99...99,5 %. Из нее отливают чушки для выплавки сплавов меди (бронзы и латуни) или плиты для электролитического рафинирования.

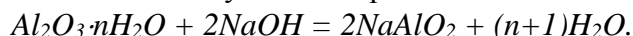
Электролитическое рафинирование проводят для получения чистой от примесей меди (99,95 % Cu). Электролиз ведут в ваннах, покрытых изнутри винипластом или свинцом. Аноды делают из меди огневого рафинирования, а катоды - из листов чистой меди. Электролитом служит водный раствор $CuSO_4$ (10...16 %) и H_2SO_4 (10...16 %). При пропускании постоянного тока анод растворяется, медь переходит в раствор, а на катодах разряжаются ионы меди:



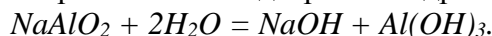
Примеси (мышьяк, сурьма, висмут и другие) осаждаются на дно ванны, их удаляют и перерабатывают для извлечения этих металлов. Катоды выгружают, промывают и переплавляют в электропечах.

Производство алюминия. Основное сырье для производства алюминия - алюминиевые руды: бокситы, нефелины, алуниты, каолины. Наибольшее значение имеют бокситы. Алюминий в них содержится в виде минералов - гидроксидов $Al(OH)_3$, $AlOOH$, корунда Al_2O_3 и каолита окиси алюминия (Al_2O_3) в расплавленном криолите (Na_3AlF_6) с добавлением фтористых солей алюминия и натрия (AlF_3 , NaF). Производство алюминия включает получение безводного, свободного от примесей оксида алюминия (глинозем), получение криолита из плавикового шпата; электролиз глинозема в расплавленном криолите.

Глинозем получают из бокситов путем их обработки щелочью:



Полученный алюминат натрия $NaAlO_2$ подвергают гидролизу:



В результате в осадок выпадают кристаллы гидроксида алюминия $Al(OH)_3$. Гидроксид алюминия обезвоживают во вращающихся печах при температуре 1150...1200 °С и получают обезвоженный глинозем Al_2O_3 .

Для производства криолита сначала из плавикового шпата получают фтористый водород, а затем плавиковую кислоту. В раствор плавиковой кислоты вводят $Al(OH)_3$, в результате чего образуется фторалюминиевая кислота, которую нейтрализуют содой и получают криолит, выпадающий в осадок:



Его отфильтровывают и просушивают в сушильных барабанах.

Электролиз глинозема Al_2O_3 проводят в электролизере, в котором имеется ванна из углеродистого материала. В ванне слоем 250...300 мм находится расплавленный алюминий, служащий катодом, и жидкий криолит.

Анодное устройство состоит из угольного анода, погруженного в электролит. Постоянный ток силой 70...75 кА и напряжением 4...4,5 В проводится для электролиза и разогрева электролита до температуры 1000°С.

Электролит состоит из криолита, глинозема, AlF_3 и NaF . Криолит и глинозем в электролите диссоциируют; на катоде разряжается ион Al^{3+} и образуется алюминий, а на аноде - ион O^{2-} , который окисляет углерод анода до CO и CO_2 , удаляющихся из ванны через вентиляционную систему. Алюминий собирается на дне ванны под слоем электролита. Его периодически извлекают, используя специальное устройство. Для нормальной работы ванны на ее дне оставляют немного алюминия.

Алюминий, полученный электролизом, называют алюминием-сырцом. В нем содержатся металлические и неметаллические примеси, газы. Примеси удаляют рафинированием, для чего продувают хлор через расплав алюминия. Образующийся парообразный хлористый алюминий, проходя через расплавленный металл, обволакивает частички примесей, которые всплывают на поверхность металла, и их удаляют. Хлорирование алюминия способствует также удалению *Na, Ca, Mg* и газов, растворенных в алюминии.

Затем жидкий алюминий выдерживают в ковше или электропечи в течении 30...40 мин при температуре 690...730⁰С для всплывания неметаллических включений и выделения газов из металла. После рафинирования чистота первичного алюминия составляет 99,5...99,85%.

Производство магния. Подобно алюминию магний получают электролизом из его расплавленных солей.

Основным сырьем для получения магния являются карналлит ($MgCl_2 \cdot KCl \cdot H_2O$), магнезит ($MgCO_3$), доломит ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$), бишофит ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$). Наибольшее количество магния получают из карналлита. Сначала карналлит обогащают и обезвоживают. Безводный карналлит ($MgCl_2 KCl$) 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 + 10)⁰С]. 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 чернового магния. Магний имеет меньшую плотность, чем электролит, поэтому он всплывает на поверхность, откуда его периодически удаляют вакуумный ковшом.

Черновой магний содержит 5 % примесей, поэтому его рафинируют переплавкой с флюсами. Для этого черновой магний и флюс, состоящий из $MgCl_2, KCl, BaCl_2, CaF_2, NaCl, CaCl_2$, нагревают в электропечи до температуры 700-750⁰С и перемешивают. при этом неметаллические примеси переходят в шлак. После этого печь охлаждают до температуры 670⁰С и магний разливают в изложницы на чушки.

Производство титана. Сырьем для получения титана являются титаномагнетитовые руды, из которых выделяют ильменитовый концентрат, содержащий 40...50 % TiO_2 , $\approx 30\%$ Fe , 20 % Fe_2O_3 и 5...7 % пустой породы. Название этот концентрат получил по наличию в нем минерала ильменита $FeO \cdot TiO_2$.

Ильменитовый концентрат плавят в смеси с древесным углем, антрацитом в рудно-термических печах, где оксиды железа и титана восстанавливаются. Образующееся железо науглероживается, и получается чугун, а низшие оксиды титана переходят в шлак. Чугун и шлак разливают отдельно в изложницы. Основной продукт этого процесса - титановый шлак содержит 80...90 % TiO_2 , 2...5 % FeO и примеси - SiO_2, Al_2O_3, CaO и др. Побочный продукт этого процесса - чугун, используемый в металлургическом производстве.

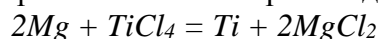
Полученный титановый шлак подвергают хлорированию в специальных печах. В нижней части печи располагают угольную насадку, нагреваемую при пропускании через нее электрического тока. В печь подают брикеты титанового шлака, а через фурмы внутрь печи - хлор. При температуре 800...1250⁰С в присутствии углерода образуется четыреххлористый титан, а также хлориды $CaCl_2, MgCl_2$ и др.



Четыреххлористый титан отделяется и очищается от остальных хлоридов благодаря различию температуры кипения этих хлоридов методом ректификации в специальных установках.

Титан из четыреххлористого титана восстанавливают в реакторах при температуре 950...1000⁰С. В реактор загружают чушковый магний; после откачки воздуха и заполнения

полости реактора аргоном внутрь его подают парообразный четыреххлористый титан. Между жидким магнием и четыреххлористым титаном происходит реакция:



Твердые частицы титана спекаются в пористую массу - губку, а жидкий $MgCl_2$ выпускают через летку реактора. Губка титана содержит 35...40% магния и хлористого магния. Для удаления из титановой губки этих примесей ее нагревают до температуры 900...950 °С в вакууме.

Титановую губку плавят методом вакуумно-дугового переплава. Вакуум в печи предохраняет титан от окисления и способствует очистке его от примесей. Полученные слитки титана имеют дефекты, поэтому их вторично переплавляют, используя как расходные электроды. После вторичного переплава слитки используют для обработки давлением.

III. ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

3.1 Значение порошковой металлургии в машиностроении

Производство металлокерамических изделий позволяет резко сократить станочный парк, отходы в виде стружки и число рабочих, занятых производством деталей. Решение задач, связанных с повышением скоростей, нагрузок, надежности, продления срока службы машин и механизмов авто-, тракторо- и турбостроения, химической, металлургической, горнодобывающей и многих других отраслях промышленности, невозможно без применения новых материалов со специальными свойствами, создаваемых методами порошковой металлургии.

Порошковая металлургия отличается минимальными отходами и высокой точностью металлокерамических изделий, полученных из порошков. Коэффициент использования металла достигает до 95...97 %, против 60...65 %. Это позволяет сократить станочный парк для обработки резанием.

Производство металлокерамических изделий состоит из следующих этапов (технологических процессов):

1. Производство металлических порошков;
2. Приготовление смеси и формообразование заготовок;
3. Спекание заготовок;
4. Окончательная обработка заготовок, отделочные операции.

3.2. Производство металлических порошков

Получение металлического порошка - это первая из основных технологических операций, характерных для порошковой металлургии. Состав, структура и другие свойства порошков зависят как от способа его получения, так и от природы соответствующего металла. Металлические порошки характеризуют по химическим, физическим и технологическим свойствам. Эти свойства зависят от метода получения порошка.

Способы производства металлических порошков можно условно разделить на две большие группы: механические методы и физико-химические методы. Иногда, с целью улучшения характеристик получаемого порошка применяют комбинированные методы.

Механические методы получения металлических порошков. В зависимости от пластических и других свойств металлические порошки получают в шаровых вращающихся мельницах, в шаровых вибрационных мельницах, в вихревых мельницах, планетарных центробежных и гироскопических мельницах, измельчением ультразвуком и распылением жидкого расплава.

Измельчение дроблением, размолотом и истиранием может быть или самостоятельным способом превращения материала в порошок или дополнительной операцией при других способах получения порошков. Выбор аппаратуры и режим ее работы определяется как

свойствами и исходным состоянием, так и требуемой формой и размером получаемых частиц.

Производство металлических порошков в шаровых вращающихся мельницах. Простейшим аппаратом для измельчения является шаровая вращающаяся мельница, которая представляет собой стальной цилиндрический барабан, внутри которого находятся размольные тела, чаще всего стальные или твердосплавные шары. При вращении мельницы размольные тела поднимаются с барабаном, в направлении вращения до тех пор, пока угол подъема не превысит угол естественного откоса. Затем размольные тела скатываются или падают вниз и измельчают материал, истирая его между внутренней поверхностью барабана мельницы и внешней поверхностью шарового сегмента либо между шарами, либо дробя материал ударами.

Измольными телами могут быть мелкая стружка или металлические опилки. Для этого применяются отходы при обработке материалов резанием - стружка.

Длительность размол колеблется от нескольких часов до нескольких суток в зависимости от пластичности размольных тел. Более хрупкие материалы измельчаются быстрее, чем пластичные.

Эффективность шаровых мельниц повышается, если перемешивать размольные тела и шары, прижатые к стенкам мельницы. С этой целью разработана высокоскоростная шаровая мельница, внутри барабана которой установлен ряд лопастей. В такой мельнице осуществляют получение композитных порошков методом механического легирования, путем совмещенного размол двух и более металлов. Механическое легирование перспективно для получения порошков дисперсно упроченных материалов или композиций, компоненты которых преобладают малой взаимной растворимостью либо резко различаются температурами плавления.

Одной из разновидностей шаровых мельниц являются так называемые атриторные устройства. Размольные тела загружают в расположенный вертикально неподвижный барабан, внутри которого со скоростью 100 об/мин и более вращается вертикальная лопастная мешалка. Гребки, наклонно укрепленные на лопастях мешалки, обеспечивают циркуляцию размольных тел и истирание измельчаемого материала. Атриторные мельницы конструктивно просты, удобны в эксплуатации и позволяют вести процесс измельчения непрерывно. (рисунк. 3.1)

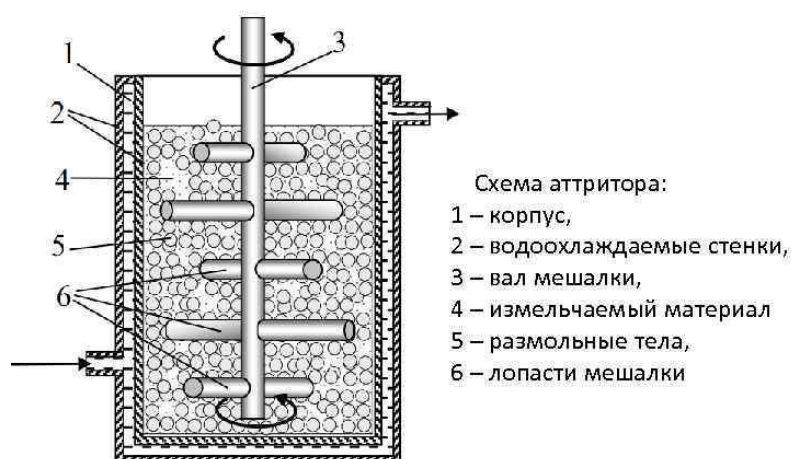


Рисунок 3.1. Схема атритора

В результате размола получают материал с более равномерным распределением частиц по размерам, и нужная дисперсность достигается в несколько раз быстрее, чем в обычных шаровых вращающихся мельницах.

Производство металлических порошков в шаровых вибрационных мельницах. Шаровые вибрационные мельницы обеспечивают быстрое и тонкое измельчение различных материалов, например, карбидов титана, вольфрама, кремния, ванадия, хрома, бора и др. (рисунок 3.2)

Вибрационным измельчением могут быть получены тонкодисперсные бронза и алюминий, причем размол алюминия следует вести в жидкой среде, во избежание взрыва. Неуравновешенные массы вала - дебалансы при его вращении вызывают круговые колебания корпуса мельницы с амплитудой 2 - 2 мм, траектория любой точки которого лежит в плоскости, перпендикулярной оси вибрации.

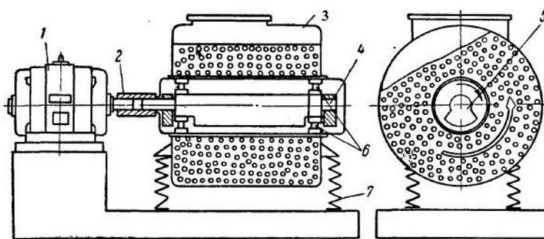


Рисунок 3.2. Вибрационная мельница

1-электродвигатель, 2- эластичная муфта, 3-корпус, 4-вал вибратора, 5-дебаланс, 6-подшипник, 7-пружины

Размольные тела и измельчаемый материал получает частые импульсы от стенок корпуса, в результате чего размольные тела подбрасываются, соударяются, вращаются и скользят по стенкам мельницы. Большое число размольных тел в единице объема и высокая частота вибраций обеспечивают интенсивное измельчение обрабатываемого материала.

Наиболее рациональной формой размольных тел для целей порошковой металлургии являются шары или цилиндрики небольшой длины. Материалом для размольных тел служат чаще всего сталь или твердые сплавы. Барабан мельницы заполняют размольными телами обычно на 75...85%. Объем измельчаемого материала не должен превышать объема пространства между шарами.

Производство металлических порошков в вихревых мельницах.

Для превращения в порошок ковких металлов предлагается способ, в котором основные ударные и истирающие усилия возникают при соударении частиц измельчаемого материала. В рабочей камере вихревой мельницы друг против друга расположены пропеллеры, вращающиеся в противоположных направлениях при высоких равных скоростях (порядка 3000 об/мин).

Мерные отрезки металлической проволоки из бункера поступают в вихревой поток, создаваемый пропеллерами, сталкиваются друг с другом и измельчаются. Насосом в рабочую камеру нагнетается газ, с помощью которого уже измельченные частицы удаляются из рабочего пространства и направляются в приемную камеру.

Производство металлических порошков в планетарных центробежных и гироскопических мельницах. Планетарные центробежные мельницы (ПЦМ) позволяют осуществлять тонкое измельчение трудноразмельчаемых материалов во много раз быстрее, чем в обычных шаровых, вихревых и вибрационных мельницах. В ПЦМ каждый из 3...6 расположенных вертикально барабанов с измельчаемым материалом вращается, как вокруг собственной продольной оси, так и вокруг оси, общей для диска, на котором они укреплены.

Во время вращения барабана размольные шары в нем располагаются по сегменту, форма и положение которого не меняются во времени. По достижении "зоны отрыва" шары

начинают перекачиваться в сегменте и вращаться вокруг собственных центров тяжести, что вызывает интенсивное измельчение материала за счет его истирания.

Одним из существенных недостатков размола в ПЦМ и гикроскопических мельницах является значительное натирание на частицы измельчаемого материала примесей от стенок барабана и размольных тел.

Производство металлических порошков распылением газовым потоком.

Методы распыления металлической струи газовыми потоками широко применяют в технике для получения порошков железа, титана, жаропрочных сплавов, меди и ее сплавов и т.д. Принципиально возможны три схемы осуществления этого процесса распылением струи расплава соосно обтекающим потоком газа (рисунок 3.3 а), обтекающим потоком газа, направленным под некоторым углом к оси струи (рисунок 3.3 б), и (рисунок 3.3 в).

Распыление струи расплава начинается при скоростях газового потока, превышающих критическое значение для струи данного расплава. Механизм распыления струи расплава потоком газа заключается в ее последовательном дроблении сначала на первичные капли, а затем в дроблении этих капель на вторичные, более дисперсные частицы - капли.

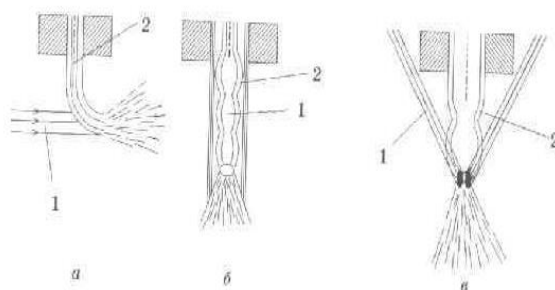


Рисунок 3.4 Схема распыления струи расплава газовым потоком а- соосно обтекающим потоком газа, б- газовым потоком, направленным к оси струи под прямым углом, в- обтекающим потоком газа, направленным под некоторым углом к оси струи

В этом технологическом процессе не учтено неизбежное химическое взаимодействие струи расплава с газом, а также изменение температуры расплава и жидких частиц капель, происходящее в результате такого взаимодействия.

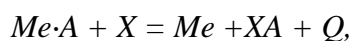
Кроме этого в промышленности применяют для распыления жидкого расплава под струей потоком воды и бесконтактные методы с использованием мощных импульсов тока, пропускаемых по жидкому расплаву, или электромагнитных полей.

Физико - химические методы - это такие технологические процессы, при использовании которых получение порошка связано с существенными изменениями химического состава исходного материала в результате происходящих в физико-химических превращений.

По принципу происходящих в нем физико-химических процессов они разнообразны и делятся на следующие группы:

- восстановление химических соединений,
- электролизный способ,
- метод термической диссоциации карбониллов металлов,
- способ термодиффузионного насыщения,
- метод испарения - конденсация,
- метод межкристаллической коррозии.

В промышленной практике металлические порошки чаще всего получают восстановлением оксидов, галогенидов и других соединений водородом, углеродом или некоторыми из металлов по реакции



где: Me - металл,

A - неметаллическая составляющая (кислород, хлор, фтор и др.),

X - восстановитель,

Q - тепловой эффект реакции.

Химическим соединением ($Me \cdot A$) могут быть окалина и рудный концентрат. Восстановителем (X) служит газ (H_2CO , например их соединения; газ генераторный, коксовый или доменный, природный и т.п.), металлы (Ca , Na или Mg) или их соединения. В каждом конкретном случае выбирают исходное соединение металла и восстановителя, руководствуясь соображениями экономии и техники безопасности и требованиями, предъявленными к полученному порошку.

Электролизный способ производства порошков заключается в разложении растворов или расплавов соединений при пропускании через них постоянного тока.

Карбонильный метод в основном используются для получения порошков Fe и Ni . Карбонилами металлов называют химические соединения с группами CO . Например, $Me_n(CO)_m$. В качестве реакционного газа применяют 95% CO и 5% H_2 .

Способ термодиффузионного насыщения используют для получения порошков хромистых сталей и сплавов 40X, X6, 12X18H, X20H80 и т.п.

Метод испарения - конденсации используют для получения порошков цинка, кадмия, бериллия и т.п. Сущность метода заключается в переводе компактного металла в парообразное состояние и последующей конденсации газов.

Свойства металлических порошков классифицируются на химические, физические и технологические. Химические свойства определяют содержание основного металла, примесей и газов. Физическими свойствами являются форма частиц, размеры и распределение их по крупности, удельной поверхности, пикнометрической плотности (истинной) и микротвердости. Технологические свойства выражают через угол естественного откоса, насыпную плотность, текучесть, плотность утряски, уплотняемость, прессуемость и формируемость.

3.3. Приготовление смеси и формообразование заготовок

Основными операциями при подготовке порошков к формованию является отжиг, рассев, смешивание.

Отжиг применяют с целью повышения их пластичности и, следовательно, улучшения уплотняемости, прессуемости и формуемости. При отжиге, главным образом, снимается наклеп (а при распылении из жидкого расплава - закаливаемость). Нагрев осуществляют в защитной среде в температурном интервале $0,4 \dots 0,6 T_{пл}$. Для железного порошка она составляет $650 \dots 750$ °C.

Под рассевом понимают разделение порошков по величине частиц на фракции, при этом крупные фракции подвергают повторному размолу на более мелкие. Рассев порошков производят с помощью различных ситовых металлических полотен (при размере частиц более 40 мкм), установленных на виброситах. Более мелкие порошки разделяют методом воздушной сепарации - сепарации.

Смешивание металлических порошков заключается в приготовлении однородной механической смеси из порошков различного химического состава, а также из смеси с неметаллическими порошками.

Задача смешивания - превращение совокупности частиц твердых компонентов при их начальном произвольном распределении между собой в макрооднородную смесь. Скорость и результат смешивания во многом определяются формой и величиной частиц, гранулометрическим составом, числом смешиваемых компонентов и соотношением их количеств, плотностями компонентов и их различием, коэффициентом трения между частицами и т.д.

Эффективность смешивания и его интенсивность зависит от конструкции смесителя, в частности определяющей скорость траектории перемещения частиц и изменения гранулометрического состава в результате раздавливания и истирания компонентов.

Смешивание производит в лопастных или шнековых центробежных конструкциях МИХМ и типа "Турбула" и др.

Металлические порошки в соответствии с ГОСТом обозначаются буквой П, затем следует буква, указывающая на материал порошка. Например ПЖ - порошок железный, ПК - порошок кобальтовый, ПН - никелевый, ПО - оловянный, ПЦ - цинковый, ПА - алюминиевый, ПАМр - алюминивно-марганцевый и т.д.

Железные порошки выпускаются по ГОСТ 9849-74. Цифра показывает марку по химическому составу, затем буква характеризует класс гранулометрического состава: К - крупный, С - средний, М - мелкий, ВМ - весьма мелкий, далее цифры подгруппы по насыпной плотности. Например: ПЖ1М2 - порошок железный ПЖ1 по химическому составу, класс мелкий по гранулометрическому составу. Таким образом они маркируются ПЖОК2, ПЖ2С1, ПЖ1С2 и т.д.

Порошки легированных сталей и сплавов изготавливают по ГОСТ 13084-67 методом восстановления гидридов кальция смесей оксидов и металлических порошков и маркируется буквами и цифрами. Например: ПХ1-1 - порошок хромистой стали, содержащий около 1 % С₄ и до 0,1 % С, ПХ1-2 тоже, но углерода от 0,11 до 0,2 %, ПХ5-1 и ПХ5-2, содержат около 5 % С₄ и до 0,1, от 0,11 до 0,2 % С соответственно, ПГ1-1, ПГ1-2 тоже, но вместо хрома она содержит около 1 % марганца, ПНЗМ, ПГ13, ПХ18Н15 и т.д., показывает химический состав порошка. Например: ПХ18Н15, 18 % С₄, 15 % никеля, остальное - железо.

Формование представляет собой прессование металлического порошка в пресс-форме под воздействием давления.

Формование деталей из порошков представляет собой процесс получения изделий определенной формы и размеров. Прочностные характеристики детали зависят от метода формирования. При холодных методах формирования деталь имеет относительно высокую пористость и малую прочность, но достаточную для извлечения ее из полости пресс-форм, дальнейшей транспортировки и обработки.

Сущность процесса прессования заключается в уменьшении его начального объема обжатием, тогда как при деформировании компактного материала его объем остается постоянным. Объем порошкового материала при прессовании изменяется в результате заполнения пустот между частицами за счет их смещения и пластической деформации.

В зависимости от температуры прессования металлических порошков делится на холодное и горячее.

Холодное прессование в закрытых пресс-формах является наиболее распространенным способом холодного прессования, применяющимся при изготовлении изделий из порошков черных, цветных и тугоплавких металлов.

Технология горячего прессования изделий из порошков еще не получила широкого распространения, однако она привлекает все большее внимание, так как позволяет получать изделия почти без пор, обладающих более высокой прочностью и пластичностью. Обычно горячей деформации подвергают спрессованные на холоде заготовки.

В зависимости от формы заготовок она делится: на прессование в пресс-формах, изостатическое формование, мундштучное формование, прокатка порошков и шликерное формование.

Методы формования разнообразны и не ставят целью изучение всех этих технологических процессов, но рассматривают некоторые из них.

С целью уменьшения трения и улучшения процесса уплотнения порошка, а следовательно повышения плотности заготовки при прессовании, применяются смазки.

В качестве смазки применяются стеаранты, стеариновая кислота, бензойная кислота, дисульфид молибдена, вольфрама, парафина, меламина и др.

Порошки твердых и хрупких материалов прессуют с применением клеящих и пластифицирующих (камфара, парафин, каучук и др.), облегчающих скольжение и обеспечивающих склеивание частиц порошка.

Большое значение имеет способ применения смазок: добавка в прессуемый порошок, смазка стенок пресс-форм или комбинированное применение этих двух способов.

Изостатическое формование применяется при прессовании заготовок больших размеров, трубчатых изделий и других изделий сложной формы.

Сущность изостатического формования заключается в уплотнении металлического порошка в эластичной или деформируемой оболочке в условиях всестороннего сжатия.

Порошок засыпают в эластичную (резиновую) оболочку, которую помещают в рабочую камеру прессования аппарата. Крышку аппарата герметически закрывают и в камере создается требуемое давление. Жидкость (масло, вода, глицерин и т.п.) всесторонне и равномерно сжимает порошок, обеспечивая формирование изделия.

Для получения полосы из порошкового материала и многослойного (порошки и компактный листовой материал) применяется прокатка порошков. Прокаткой получают заготовки из конструкционных, электротехнических, фрикционных и антифрикционных материалов, а также при производстве фильтров, электрохимических электродов и других пористых изделий.

Порошки прокатывают как в холодном, так и в горячем состоянии. При горячей прокатке станы снабжают дополнительными устройствами для нагрева порошка.

3.4. Спекание заготовок

Спекание - термическая обработка, которой подвергают сформованные из порошков изделия. Операция спекания состоит в нагреве и выдержке при $T = (0,7 + 0,8) \cdot T_{пл}$ основного компонента спекаемой композиции. При изготовлении деталей из легированных порошков температура спекания составляет $(0,85 - 0,92) \cdot T_{пл}$.

В зависимости от химического состава нагреваемого порошкового тела различают спекание одно- и многокомпонентных систем, хотя такое деление условно, т.к. любой так называемый однокомпонентный состав из-за наличия в нем примесей по существу представляет собой многокомпонентную систему.

Процесс спекания характеризуется тремя принципиально отличительными состояниями:

первая стадия - припекание частиц друг к другу, сопровождающееся увеличением площади контакта между ними. На этой стадии каждая из них сохраняет структурную индивидуальность, т.е. граница между ними сохраняется и с ней понятие "контакт";

вторая стадия - пористое тело представляется в виде совокупности двух беспорядочно перемежающихся фаз - фазы вещества и пустоты; на этой стадии формирование замкнутых пор еще не заканчивается, а контакты между частицами уже исчезают, а границы между элементами структуры оказываются расположенными произвольно, вне связи с начальным расположением границ между исходными порошками. Третья стадия характеризуется присутствием замкнутых изолированных пор в спекающемся теле, число и общий объем которых могут уменьшаться, приводя к уплотнению порошкового тела.

Эти стадии четко не разграничены, т.к. замкнутые поры могут встретиться в реальной прессовке на ранней стадии процесса нагрева, а начальные контакты будут присутствовать на третьей.

Часто выделяют следующие стадии спекания: 1) развитие и возникновение связей между частицами, 2) образование и рост контактов, 3) закрытие сквозной пористости, 4) сфероидизация пор, 5) уплотнение за счет усадки пор, 6) укрупнение пор.

Принято различать спекание с жидкой фазой, присутствующей до конца изотермической выдержки при нагреве. Жидкое фазное спекание характерно для многокомпонентных систем.

Жидкая фаза, образовавшаяся при расплавлении легкоплавкого компонента или легкоплавкой составляющей, облегчает развитие сил сцепления между отдельными частицами по-

рошка, но только в том случае, если она их смачивает. При плохой смачиваемости жидкая фаза тормозит спекание, препятствуя уплотнению.

В присутствии жидкой фазы существенно увеличивается скорость диффузии компонентов, облегчается перемешивание твердых частиц друг относительно друга. При этом можно считать, что спекаемое тело находится под равномерным всесторонним сжимающим давлением. При хорошем смачивании жидкость протекает на контактные участки, резко уменьшая трение между частицами и их заклинивание.

При хорошей смачиваемости спекаемое изделие из металлического или неметаллического расплава проходит пропитку пор заготовки, например, в системах *Fe-Cu*, *Mo-Cu*, *W-Ad*, *Cu-Pb* и т.д.

Повышение длительности и температуры спекания, дисперсности порошков, введение легирующих добавок, способствующих улучшению смачивания компонентов, применение активизирующих газовых сред, приложение небольших нагрузок способствует повышению усадки, плотности и физико-механических свойств.

Спекание обычно проводят в защитной среде, предотвращающей окисление металлической основы.

Окисление при спекании крайне нежелательно, т.к. процесс уплотнения брикетов тормозится и даже останавливается из-за образования на поверхности частиц окисленных пленок.

Выбор защитной среды в значительной степени зависит от состава спекаемых изделий, типа печей, экономических факторов и т.п.

Защитные среды делятся на три группы: газовые, твердые и жидкие.

Газовые защитные среды могут быть водородные, аргонные, азотные, эндо- и экзотермические, а также вакуумные. В качестве твердых защитных сред применяются активированный уголь, графит, порошки химически активных металлов, а в жидких защитных средах используется спекание в контейнерах с плавким затвором, под слоем расплавленного стекла.

В серийном и массовом производстве металлических изделий применяются газовые защитные среды, а при производстве небольших объемов изделия спекают с использованием твердых и жидких сред защиты.

3.5. Окончательная обработка заготовок, отделочные операции

Окончательными операциями при производстве металлокерамических деталей является доводка, калибровка, уплотняющее обжигание и термическая и химико-термическая обработка.

Спеченные металлокерамические детали можно обрабатывать резанием (чистовая механическая обработка). Для увеличения плотности применяется дополнительное уплотняющее обжигание в специальных пресс-формах.

При наличии полиморфных превращений в сплаве (т.е. растворимость одного компонента в другом) спеченные изделия подвергаются термической и химико-термической обработкам. В ряде случаев создание заданных структур и субструктур в сплаве достигается совместным воздействием температуры и деформации (термомеханическая обработка).

В порошковых конструкционных материалах на железной основе необходимо учитывать влияние пористости, снижающей теплопроводность (скорость нагрева и охлаждения) и прокаливаемость. Это вызывает необходимость повышения температуры основных технологических операций или использования более активных охлаждающих сред при термической обработке.

Нагрев под закалку рекомендуется проводить в защитной среде, т.к. поверхности пор внутри детали могут быть окисленными. В качестве защитных сред применяется азот с небольшими добавками водорода и оксида углерода, эндогаз с добавками природного газа и аммиака, вакуум или углеродосодержащие засыпки (отработанный карбюризатор, древесный уголь, графит и т.п.).

Температура нагрева под закалку для углеродистых порошковых сталей незначительно выше ($AC_3 + 30...50$ °C). В качестве закалочных сред рекомендуется вода или водные растворы солей, замена воды на масло снижает твердость среднеуглеродистых пористых сталей на HRC 12-15, высокоуглеродистых сталей на HRC 2...3.

При закалке пористых изделий наличие пор способствует образованию устойчивой паровой рубашки, ухудшающей тепло отвод от стенок деталей и вызывающей пятнистую твердость. Интенсивное перемешивание закалочной среды способствует повышению твердости изделий.

Температурные режимы отпуска порошковых изделий аналогичны с температурными режимами отпуска компактных сталей.

При индукционном нагреве в температурном интервале от цеховой до точки Кюри (768 °C) скорость нагрева практически одинакова. При более высокой температуре ферритная фаза переходит в парамагнитное состояние и поэтому уменьшается скорость нагрева.

Все виды химико-термической обработки (цементация, азотирование, карбонитрирование, борирование, хромирование и т.п.), принятые для компактных сталей, применяются и для металлокерамических деталей. Однако, наличие пор в спеченных изделиях способствует увеличению глубины упрочненного слоя в 1,5...2 раза по сравнению с безпористой сталью.

3.6. Применение порошковых конструкционных материалов и экономическая эффективность

С целью выявления объекта (номенклатуры деталей), который можно рекомендовать для изготовления методами порошковой металлургии, необходимо изучать конструктивные особенности и условия работы: определить общую годовую потребность в указанных деталях, определить наиболее массовые и быстроизнашивающиеся узлы и детали.

Методика подбора номенклатуры деталей для изготовления металлокерамических изделий включает: выявление деталей и узлов с низким сроком службы из дорогих и дефицитных материалов, классификацию деталей в зависимости от конфигурации, массы, геометрических размеров, режимов и условий эксплуатации и предварительное определение экономической эффективности.

По функциональной роли, исполняемой в кинематике и динамике машины и узла, детали принято классифицировать на антифрикционные, конструкционные и специального назначения (жаростойкие, жаропрочные, магнитные, электроконтактные, коррозионностойкие и т.п.).

При рассмотрении возможности перевода конструкционных деталей на изготовление методами порошковой металлургии необходимо учитывать сложность изготовления прессформ, количество и трудоемкость технологических операций, влияние конфигурации детали на ее плотность по всему сечению, возможность применения калибрования для получения требуемых классов точности. Опыт показывает, что в первую очередь целесообразно переводить на изготовление методами порошковой металлургии детали из цветных металлов и сплавов. Простой, средней и сложной группы сложности, стальные и чугунные крупносерийного производства (простой и средней групп сложности).

Методы порошковой металлургии позволяют в максимальной степени экономить трудовые затраты и материальные ресурсы при выпуске изделий конструкционного назначения. В ряде случаев порошковые конструкционные материалы по своим уникальным свойствам не имеют аналогов и позволяют обеспечивать выпуск качественно новой продукции.

Применение порошковых конструкционных материалов дает значительную экономию в сфере эксплуатации, обеспечивая высокие эксплуатационные свойства изделий.

Для получения 1 т конечного продукта методами порошковой металлургии требуется 3200...3500 кВт/ч энергии, тогда как при производстве 1 т стали расходуется 3600...5900 кВт ч.

Стоимость порошков в 1,5...3,5 раза выше стоимости проката, полученного традиционными методами. Поэтому, при отсутствии существенного повышения ресурса машин и приборов, необходимо тщательно анализировать применение порошковых изделий конструкционного назначения.

Более высокая стоимость порошков в некоторой мере компенсируется лучшей степени их использования. Производство деталей методами порошковой металлургии практически не имеет отходов, и коэффициент использования металла составляет 0,90...0,97. Особенностью процесса порошковой металлургии является необходимость применения достаточно сложных пресс-форм, поэтому такая технология доступна только при серийном производстве.

С увеличением массы металлокерамических деталей рентабельность производства снижается, а с повышением группы сложности, наоборот, рентабельность увеличивается.

Экономический эффект в народном хозяйстве от применения порошковых изделий обшемашиностроительного назначения зависит от массы изделия, группы сложности и химического состава (рисунок 3.7). Как видно из рисунка, при производстве мелких и сложных деталей экономический эффект наиболее высокий, он еще больше при производстве легированных и цветных порошковых материалов, т.к. стоимость исходного материала для их изготовления повышается. С увеличением массы деталей экономический эффект (руб/т) резко снижается.

Исходя из этих соображений, выбираются детали для изготовления методами порошковой металлургии.

IV. ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК

4.1. Технологическая схема изготовления отливок

Суть литейного производства состоит в том, что фасонные детали получают заливкой жидкого металла в литейную форму, полость которой соответствует их размерам и форме. После кристаллизации металла отливку удаляют из литейной формы и в случае необходимости отправляют в механический цех для последующей обработки.

Технология изготовления начинается с разработки ее чертежа и рабочих стержней модельного комплекта.

Современное литейное производство располагает следующими способами изготовления отливок: в песчано-глинистых формах с ручной и машинной формовкой; литье в оболочковые формы, литье по выплавляемым моделям, центробежное литье, кокильное литье, литье под давлением и т.п.

Область применения этих способов определяется многими факторами; типом производства - единичное, серийное и массовое; массой, точностью и чистотой поверхности отливок; литейными свойствами сплавов; экономической целесообразностью использования того или иного способа.

4.2. Литейные свойства сплавов

Для получения тонкостенных, сложных по форме или больших по размерам отливок без дефектов наряду с механическими, физическими и химическими свойствами литейные сплавы должны обладать хорошими литейными свойствами. Наиболее важными из них являются: жидкотекучесть, усадка, склонность к образованию газовых раковин и трещин, ликвации и газопоглощению.

Жидкотекучесть - это способность жидких металлов и сплавов заполнять полости литейной формы и четко воспроизводить контуры отливки.

Жидкотекучесть расплава определяют путем заливки технологических проб в виде спирали, длину которой принимают за меру жидкотекучести металла и измеряют в миллиметрах заполненной части спирали.

Жидкотекучесть сплава зависит от ее химического состава, температуры перед заливкой расплава и теплопроводности формы. Кремний, фосфор и углерод улучшают жидкотекучесть расплава, а сера ухудшает. Чистые металлы и сплавы (эвтектические), затвердевающие при постоянной температуре, обладают лучшей жидкотекучестью, чем сплавы, образующие твердые расплавы и затвердевающие в интервале температур. С повышением температуры жидкого металла улучшается жидкотекучесть и можно получить при этом тонкостенные отливки. Однако перегрев жидкого металла увеличивает зернистость, что приводит к образованию горячих трещин в отливках. Оптимальная температура нагрева жидкого металла на 100...150 °С выше температуры плавления сплава.

Чем выше теплопроводность формы, повышающая скорость охлаждения отливки, тем меньше жидкотекучесть. Песчаные формы отводят теплоту медленнее и повышают жидкотекучесть.

Усадка - это способность литейных сплавов уменьшать объем металла и линейных размеров отливки при охлаждении. Различают линейную и объемную усадки. Литейная форма, в зависимости от сложности отливки, оказывает сопротивление линейной усадке металла, в результате которой возникают внутренние напряжения приводящие к короблению и горячим трещинам. Линейную усадку определяют соотношением, %:

$$E_{лин} = (L_{\phi} - L_{om}) \cdot 100 / L_{om}$$

где L_{ϕ} и L_{om} - размеры полости формы и отливки при 20 °С.

На линейную усадку влияют химический состав сплава, температура его заливки, скорость охлаждения сплава, конструкция отливки и литейная форма. Углерод и кремний уменьшают усадку железоуглеродистых сплавов.

При охлаждении отливки происходит механическое и термическое торможение усадки. Термическое торможение возникает при различных скоростях охлаждения отдельных частей отливки, а механическое в следствии трения между отливкой и формой.

Объемная усадка - это уменьшение объема сплава при его охлаждении в литейной форме при формировании отливки. Объемную усадку определяют соотношением, %:

$$E_{об} = (V_{\phi} - V_{om}) 100 / V_{om}$$

где V_{ϕ} и V_{om} - объем полости формы и объем отливки при 20 °С. Она равна $E_{об} = 3E_{лин}$

Ликвация - это неоднородность химического состава сплава по сечению отливки. Различают зональную и дендритную ликвации. Зональная ликвация - это неоднородность химического состава в объеме отливки, дендритная в пределах одного зерна. Для уменьшения ликвации увеличивают скорость охлаждения отливки.

Газопоглащение - это способность сплавов в жидком состоянии растворять газы. Они, выделяясь из металла при кристаллизации, могут образовывать в отливке газовые раковины.

4.3. Технологические особенности изготовления отливок из различных сплавов

Чугунные отливки. Из всех литейных сплавов наилучшими литейными свойствами обладает обыкновенный серый чугун. Усадка серых чугунов составляет 0,9...1,3 %, по сравнению она соответствует 2,0...2,4 %. Сравнительно невысокая температура плавления и стоимость, небольшое газовыделение, хорошая жидкотекучесть, минимальная усадка и небольшая склонность к ликвации обеспечит серому чугуну широкое применение в литейном производстве.

Основным фактором, влияющим на структуру чугуна, является химический состав. Чем больше углерода в чугуне и чем медленнее он охлаждается, тем большее количество выделится графита. Выделение графита сопровождается увеличением объема отливки, что способствует уменьшению усадки и заполнению формы. Нижний предел содержания углерода - 2,7 % принимают для толстостенных отливок, а верхний - 3,5 % для тонкостенных. Кремний наряду с увеличением жидкотекучести, и усиливает процесс графитизации. Марганец отбеливает чугун, увеличивает усадку, не влияя на жидкотекучесть. Однако марганец нейтрализует вредное влияние серы. Сера вызывает отбел в тонких частях отливки и снижает жидко-

текучесть. Допустимое содержание серы в чугуне не более 0,10...0,12 %. Чтобы нейтрализовать вредное влияние серы в чугуне должно быть не менее 0,6 % Mn. Фосфор при содержании более 0,3 - 0,4 % образует фосфидную легкоплавкую эвтектику, повышающую жидкотекучесть чугуна. Однако фосфидная эвтектика придает хрупкость чугуну и поэтому его содержание должно быть не более 0,2...0,3 %.

Отливки из высокопрочного чугуна применяются в тяжелом и энергетическом машиностроении, в металлургической промышленности, работающих в условиях больших статических и динамических нагрузках. Технология изготовления отливок из ковкого чугуна более сложна и менее экономична, чем получение отливок из серого чугуна. Однако механические свойства серого чугуна сравнительно ниже (в 2-3 раза).

Для получения графита шаровидной формы (см. рисунок 1.6в) чугун модифицируют магнием.

Свойства высокопрочного чугуна определяются химическим составом. Содержание углерода не влияет на механические свойства этого чугуна. Кремний, марганец и фосфор снижают пластичность, поэтому их содержание составляет 2,0 - 2,4 % Si, не более 0,4 % Mn и не более 0,1 % P. Сера затрудняет получение шаровидного графита, поэтому ее содержание не должно превышать 0,02 %.

Жидкотекучесть высокопрочного чугуна такая же, как у серого чугуна при одном и том же химическом составе. Литейная усадка высокопрочного чугуна составляет 1,25...7 %, что затрудняет изготовление отливок без усадочных дефектов.

Ковкий чугун получают путем длительного отжига отливок из белого чугуна. При отжиге образующийся графит приобретает компактную хлопьевидную форму (см. рисунок 1.6 б). Ковкий чугун обладает высокими износостойкостью и сопротивлением ударным нагрузкам, хорошо обрабатывается резанием.

С понижением содержания углерода в чугуне механические свойства отливок повышаются. Повышенное содержание марганца увеличивает длительность отжига, понижает пластичность и повышает прочность. Сера и фосфор понижают пластичность и ударную вязкость ковкого чугуна. Поэтому оптимальный химический состав белого чугуна для получения ковкого составляет, в %: 2,5...3,2 C; 0,9...1,2 Si; 0,3...0,7 Mn; до 0,2 P и до 0,125 S.

По механическим свойствам ковкий чугун занимает среднее положение между серым обыкновенным чугуном и углеродистой сталью.

Белый чугун (для получения ковкого) по сравнению с серым имеет плохую жидкотекучесть, в 1,5 раза большую усадку и повышенную склонность образованию горячих и холодных трещин.

Из ковкого чугуна изготавливают отливки массой от нескольких граммов до 250 кг с толщиной стенок 3...50 мм.

Плавка чугуна в литейных цехах осуществляется в вагранках, мартеновских печах, электродуговых и индукционных печах.

Стальные отливки обладают высокими механическими свойствами, ударной вязкостью, прочностью, пластичностью и достаточной износостойкостью. Для изготовления отливок используют углеродистые и легированные стали. Литейные стали маркируют аналогично конструкционным сталям, отличие составляет буква Л в конце марки, что означает "литейная". Например, 15Л, 30Л, 40ХНЛ, 12Х18Н9ТЛ, 110Г3Л и т.п.

Литейные стали имеют пониженную жидкотекучесть, значительную усадку, что приводит к образованию трещин, усадочных раковин и пористости в отливках.

Для плавки литейных сплавов, как правило, используют дуговые и индукционные печи.

Для изготовления отливок из алюминиевых сплавов применяют литейные сплавы серии АЛ, где буква А показывает принадлежность к алюминию, а буква Л - к литейным сплавам. Они обладают высокой коррозионной стойкостью в морской воде, хорошо работают при вибрационных нагрузках.

Кремний повышает жидкотекучесть сплава. Сплавы, содержащие кремний, называются силуминами, они обладают высокой жидкотекучестью, малой усадкой (0,8...1,1 %) и не склонны к образованию горячих и холодных трещин.

Магниеые сплавы имеют удовлетворительную коррозионную стойкость, пониженную жидкотекучесть, повышенную усадку и склонны к образованию горячих трещин.

Магниеые сплавы обладают малым удельным весом (1,75...1,9 г/см³), что 4,5 раза легче сплавов горных металлов и в 1,5 раза -алюминиевых. По удельной прочности магниеые сплавы превосходят некоторые стали, чугуны и алюминиевые сплавы.

Недостатком этих сплавов является легкая окисляемость как при производстве отливок, так и при их обработке и эксплуатации. Для предотвращения загорания магниеого сплава в литейной форме в состав формовочных смесей вводят защитные присадки.

При температурах более 800 °С магний на поверхности расплава загорается. Поэтому вести плавку на воздухе невозможно, а лишь в нейтральной среде или под слоем шлака. Во избежании возгорания соприкосновении с воздухом в процессе заливки струю опыляют порошком серы, образующим защитный сернистый газ.

Отливки из магниеых сплавов широко используют в автомобильной промышленности, текстильном машиностроении, приборостроении, авиационной и ракетной промышленности.

Медные сплавы имеют удовлетворительную жидкотекучесть, высокую усадку (1,4...2,2 %) и склонны к образованию трещин.

Для изготовления отливок применяют медные сплавы, делящиеся на бронзы и латуни. Бронзы тоже делятся на оловянные и безоловянные. Оловянные бронзы обладают самой минимальной усадкой (1,4...1,6 %) из медных сплавов, а безоловянные бронзы высокой жидкотекучестью и усадкой (1,6 - 2,4 %).

Из оловянных бронз изготавливают арматуру, шестерни, подшипники и др., работающих на трение и в агрессивных средах. Безоловянные бронзы для изготовления гребных винтов крупных судов, тяжело нагруженных шестерен и зубчатых колес, корпусов насосов деталей химической и пищевой промышленности.

4.4 Технологические требования к конструкции отливки

При разработке технологии отливки необходимо учитывать литейные свойства сплава, технологию изготовления модельного комплекта, формы и стержня, технологию обрубки и очистки литья. Исходя из условий работы, себестоимости и количества отливок для конструируемой литой детали выбирают вид производства (единичное, серийное, массовое), способ литья (в разовые формы, в кокили и др.), способ формовки (ручная, машинная). При массовом производстве учитывается возможность максимальной механизации и автоматизации технологических процессов, наличие в литейном цехе оборудования и возможность использования наиболее прогрессивной технологии. Выбор способа литья определяется не только стоимостью отливок, но и требованиями к их качеству. Например, более высокая стоимость оболочкового литья по сравнению с обычным литьем в песчаные формы компенсируется меньшими припусками на обработку и лучшим качеством поверхности отливки. Правильно разработанная технология уменьшает брак литья и способствует быстрому освоению отливки в производстве.

При конструировании отливки должны быть соблюдены такие основные требования: равенство отливки; отсутствие поднутренней и большого скопления металла в отдельных ее частях, наличие формовочных уклонов на вертикальных стенках (перпендикулярных к плоскости разъема формы), плавные переходы при сопряжении стенок; наличие галтелей и др.

Технологичная конструкция отливки при максимальной прочности должна быть дешевой и дать возможность применить самые прогрессивные технологические методы, обеспечить высокую производительность, снизить количество брака, повысить качество и точность отливок, что сокращает объем механической обработки и экономит металл. Форма отливки

должна быть простой для облегчения изготовления модельного комплекта и литейной формы. Прямолинейные очертания отливки предпочтительнее криволинейных, а при необходимости криволинейных поверхностей их выполняют цилиндрическими или коническими, что упрощает и удешевляет изготовление моделей и стержневых ящиков, облегчает удаление моделей из форм и дает возможность избежать криволинейных разъемов, усложняющих формовку.

Формовочные уклоны облегчают удаление модели из формовочной формы без ее разрушения. Если внутренняя полость отливки закрыта, то в ее конструкции предусматривают технологические отверстия для выбивки стержней и их каркасов, которые затем закрывают заглушками.

4.5. Модельные комплекты для ручной и машинной формовки

На основе заданного конструкционного чертежа детали технолог с учетом способа литья, припусков и напусков для механической обработки и литейных наклонов разрабатывает модель отливки, модель стержня, если деталь имеет внутренние полости, модели литниковой системы выпаров. А в модельном участке с учетом усадки данного сплава изготавливают модельный комплект отливки и стержня, литниковые системы и выпаров.

Таким образом в модельный комплект входят: модель будущей отливки, один или несколько стержневых ящиков, модели литниковой системы и подмодельная доска или модельная плита (при машинной формовке).

С помощью модели в литейной форме получают отпечаток наружной конструкции отливки. В стержневых ящиках изготавливают песчаные стержни, обеспечивающие получение внутренней полости отливки. При формовке на подмодельную доску устанавливают модель или полумодель.

Модельный комплект должен: отвечать форме и размерам отливки с учетом литейной усадки металла и припусков на механическую обработку, быть достаточно прочным, не изменять размеры при хранении и многократном использовании, его конструкция не должна затруднять набивку формы и удаление из нее модели или стержня из стержневого ящика, быть легким и недорогим.

Модельный комплект для ручной формовки изготавливают для серийного производства из твердых пород древесины (клен, бук, береза), а в единичном - из ели и сосны. Неразъемные модели используют для отливок несложной конфигурации, которые могут быть заформованы в одной полуформе. Для сложных отливок модель изготавливают с разъемом, что позволяет удалять ее из формы без разрушения последней. С этой же целью вертикальные стенки модели, перпендикулярные плоскости разъема формы, делают с уклоном в пределах от 0,5 до 3 (нижний предел для высоких моделей, верхний - для низких). Размеры модели по сравнению с размерами детали увеличивают на величину линейной усадки металла, из которой изготавливают отливку и на величину припусков на механическую обработку.

Литниковая система состоит из литниковой чаши, стояка, шлакоуловителя и питателей. Литниковая чаша уменьшает динамический напор струи металла и частично отделяет шлак. Стояк, соединяющий литниковую чашу со шлакоулавлителем, делают конусным. Шлакоулавнитель трапецидального сечения размещают в верхней половине формы в полости разъема. Он должен задержать шлаковые и земляные включения, не допустив их в полость формы. Это достигают понижением подачи скорости металла в шлакоулавлителе, изменяя направление его движения. При торможении металла шлаковые включения всплывают и задерживаются в шлакоулавлителе.

Литниковая система во время заливки должна быть жидким металлом, так как разрыв струи приводит к всасыванию воздуха и шлака в полости формы, а также к образованию окисленных плен в месте разрыва.

Модельный комплект при машинной формовке изготавливают из сплавов легких металлов. Металлические полумодели закрепляют винтами на металлических плитах. На этой

же плите монтируют модели литниковой системы. Такие плиты называют модельными. Так как при машинной формовке две полуформы изготавливают отдельно на разных машинах, то полумодели закрепляют на координатных модельных плитах, чтобы обеспечить совпадение двух полуформ при их сборке.

Металлический модельный комплект может выдержать десятки и сотни тысяч формовок и к тому же обеспечивает более высокую прочность получаемых отливок, чем деревянный.

4.6. Формовочные и стержневые смеси

Формовочные материалы - это совокупность природных и искусственных материалов, используемых для приготовления формовочных и стержневых смесей. В качестве исходных материалов используют формовочные кварцевые пески и литейные формовочные глины.

Глины обладают связующей способностью и термохимической устойчивостью, что позволяет получать отливки без пригара. Если глина не обеспечивает необходимых свойств смесей, применяют различные связующие материалы. Кроме того, используют противопригарные добавки (каменноугольную пыль, графит), защитные присадочные материалы (борную кислоту, серный цвет) и другие добавки.

Формовочная смесь - это многокомпонентная смесь формовочных материалов, соответствующая условиям технологического процесса изготовления литейных форм. Формовочные смеси по характеру использования разделяют на облицовочные, наполнительные и единые.

Облицовочная смесь - это формовочная смесь, используемая для изготовления рабочего слоя формы. Такие смеси содержат повышенное количество исходных формовочных материалов (песка и глины) и имеют высокие физико-механические свойства.

Наполнительная смесь - это формовочная смесь для заполнения формы после нанесения на модель облицовочной смеси. Поэтому ее приготавливают путем переработки оборотной смеси с малым количеством исходных формовочных материалов (песка и глины). Облицовочные и наполнительные формовочные смеси используют при изготовлении крупных и сложных отливок.

Единая смесь - это формовочная смесь, применяемая одновременно в качестве облицовочной и наполнительной смеси. Такие смеси применяют при машинной формовке и на автоматических линиях в серийном и массовом производствах. Единые смеси приготавливают из наиболее огнеупорных песков и глин с наибольшей связующей способностью, чтобы обеспечить их долговечность.

По роду заливаемого металла различают формовочные смеси для стального, чугунного и цветного литья.

Формовочные смеси должны иметь высокую огнеупорность, достаточную прочность и газопроницаемость, пластичность, податливость и т.д.

Огнеупорность - способность смеси и формы сопротивляться размягчению или расплавлению под воздействием температуры расплавленного металла. Чем крупнее песок, тем меньше в нем примесей пыли и чем больше кремнезема, тем более огнеупорна смесь. При низкой огнеупорности на поверхности отливки образуется пригар - прочное соединение формовочной или стержневой смеси с поверхностью отливки.

Прочность - способность материала формы не разрушаться при извлечении модели из формы, транспортировании и заливки форм. Прочность формовочной смеси увеличивается с увеличением содержания глины, с уменьшением размеров зерен песка, плотности.

Газопроницаемость - способность смеси пропускать через себя газы. Газопроницаемость тем выше, чем больше песка в формовочной смеси и чем он крупнее, а также чем меньше содержание глины в формовочной смеси.

Пластичность - способность деформироваться без разрушения и точно воспроизводить отпечаток модели. Пластичность смеси увеличивается с повышением в ней (до определенного предела) связующих материалов и воды, а также песка с мелкими зёрнами.

Податливость - способность формы или стержня сжиматься при усадке отливки.

Стержневая смесь - это многокомпонентная смесь формовочных материалов, соответствующая условиям технологического процесса изготовления литейных стержней. Стержни при заливке расплавленного металла испытывают значительные тепловые и механические воздействия по сравнению с формой, поэтому стержневые смеси должны иметь более высокую огнеупорность, газопроницаемость, податливость, малую газотворную способность, легко выбиваться из отливок и т.д.

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

Стержневые смеси, отверждающиеся при тепловой сушке, готовят из кварцевого песка и связующих материалов, в качестве которых используют различные органические и неорганические материалы.

Стержневые смеси, отверждающиеся в нагреваемой оснастке, готовят из кварцевого песка с использованием синтетических смол и катализаторов.

4.7. Разновидности литейных форм

Для получения отливок используют различные литейные формы, отличающиеся: сроком службы (разовые, многократные); состоянием перед заливкой (сухие, подсушенные, сырые, химически твердеющие, самотвердеющие) и технологией изготовления (вручную, на машинах, по выплавляемым моделям и др.).

Разовые формы изготавливают из песчано-глинистых формовочных смесей, и служат они для получения только одной отливки. По толщине стенок разовые формы могут быть толстостенные (30...50 и более мм), тонкостенные (10...25 мм) и оболочковые (до 10 мм). Разовую форму изготавливают разъемной, состоящей из нижней и верхней полуформ. К разовым формам относят также неразъемные формы, изготовленные по выплавляемым моделям. После заливки разовую форму разрушают для освобождения затвердевшей отливки.

Многократные разъемные формы изготавливают из шамота, асбеста, алебаstra, цемента и др. огнеупорных материалов. Такие формы выдерживают несколько десятков и сотен заливок. После заливки многократную форму закрывают, не разрушая ее, извлекают готовую отливку и снова собирают для очередной заливки.

Многократные формы (кокили) изготавливают металлическими: из чугуна, стали и иногда из медных и алюминиевых сплавов. От температуры плавления сплава, из которого получают отливку, зависит срок службы кокиля. Так, в одном кокиле можно изготовить до нескольких сотен отливок из стали, до нескольких тысяч отливок из чугуна и до сотен тысяч отливок из сплавов цветных металлов. Из-за высокой стоимости кокиля используют только в серийном и массовом производстве отливок. Отливка извлекается из кокиля специальными толкателями, которые при раскрытии половин кокиля выходят из своих гнезд и выталкивают отливку.

4.8. Изготовление отливок в песчано-глинистых формах

Основные операции изготовления форм (формовки): уплотнение формовочной смеси для получения точного отпечатка модели в форме и придание форме достаточной прочности; устройство вентиляционных каналов для вывода газов из полости формы образующихся при заливке; извлечение модели из формы; отделка и сборка форм. По степени механизации различают формовку: ручную и машинную.

Ручную формовку применяют для получения одной или нескольких отливок в условиях опытного производства, при изготовлении крупных отливок (массой до 200 т). На практике используют различные приемы ручной формовки.

Формовка в парных опоках по разъемной модели наиболее распространена. Литейную форму, состоящую из двух полуформ, изготавливают по разъемной модели в такой последовательности: на модельную плиту устанавливают нижнюю половину модели, модели питателей и опоку, в которую засыпают формовочную смесь и уплотняют. Опоку поворачивают на 180° , устанавливают верхнюю половину модели, модели шлакоуловителя, стояка и выпоров. По центрирующим штырям устанавливают верхнюю опоку, засыпают формовочную смесь и уплотняют. После извлечения модели стояка и выпоров форму раскрывают. Из полуформ извлекают модели и модели питателей и шлакоуловителей, в нижнюю полуформу устанавливают стержень и накрывают нижнюю полуформу верхней. После заливки расплавленного металла и его затвердевания литейную форму разрушают и извлекают отливку.

4.9. Изготовление отливок в песчано-глинистых формах

Основными операциями при изготовлении формы являются: уплотнение формовочной смеси для получения отпечатка модели в форме; форме достаточной прочности, установка вентиляционных каналов для вывода газов, образующихся при заливке, отделка и сборка форм. По степени механизации формовка делится на ручную и машинную формовку. Ручную формовку применяют при изготовлении крупных отливок массой несколько десятков тонн и для получения одной или мелкосерийном производстве отливок.

Формовку с использованием жидко стекольных смесей применяют при изготовлении отливок массой до 40 тонн в серийном и единичном производстве. Машинную формовку применяют для производства мелких и средних отливок. В массовом серийном производстве машинная формовка имеет преимущество по производительности, точности, качеству отливок по сравнению с ручной формовкой. При машинной формовке механизирован ряд технологических операций - дозатор выдаёт определённую порцию единой формовочной смеси, уплотняет смеси в опоках, удаляет модели из формы, сборка и транспортировка готовых форм к месту заливки металла. Формовочные классифицируют по следующим признакам: по методу уплотнения смеси в опоки и по способу извлечения модели из формы. По методу уплотнения смеси в опоки применяют формовочные машины прессовые, встряхивающие, а по способу извлечения модели из формы - со штифтовым съёмом, с поворотной плитой и перекидным столом. Прессовые формовочные машины более производительные и применяют в двух модификациях - с верхним и нижним прессованием.

Преимущественное распространение получили машину с верхним прессованием как более простые и долговечные. Встряхивающие машины используют для уплотнения формовочной смеси в полуформах массой от 100 кг до 40 т.

В результате циклических ударов уплотнение формовочной смеси в опоке. При этом слои формовочной смеси, лежащих у модельной плиты, будут иметь большую плотность, чем слои лежащие в верхней части формы. Для уплотнения верхних слоёв формы встряхивание совмещают с прессованием. Уплотнение формы пескомётами имеет высокую производительность, если при ручной формовке часовая производительность формовщика составляет $0,5...0,6 \text{ м}^3$ уплотнённой смеси, на формовочных прессовых и встряхивающих машинах $8...10 \text{ м}^3$, а на пескомёте достигает до 60 м^3 . Пескомёты одновременно наполняют опоки формовочной смесью и уплотняют её. Мы здесь не рассматриваем конструкции пескомётов, они могут быть стационарными, используемыми в крупносерийном и массовом производствах и передвижными консольными в единичном и мелкосерийном.

Машинная формовка стержней обеспечивает более высокую производительность труда и точность, чем при ручной формовке и применяется в серийном и массовом производствах. При формовке стержней используют прессовые и встряхивающие машины, а также пескомёты, работа которых ничем не отличается от работы машин используемых при изготовлении форм и поэтому здесь их не рассматриваем.

4.10. Литьё в оболочковые формы

Сущность заключается в том, что разовую литейную форму изготавливают в виде оболочки, используя для формовочной смеси в качестве связующего материала фенольные терморезистивные смолы, прочно цементирующие мелкий кварцевый песок, являющийся наполнителем. Изготовление оболочковой формы исключает потребность в опоках, резко снижает расход формовочной смеси, легко механизуется и автоматизируется. Использование формовочной смеси, состоящей из 92...95% мелкого кварцевого, магнезитового или циркониевого песка и 4...6% терморезистивной фенолформальдегидной смолы, обеспечивает малую шероховатость поверхности и более высокую точность отливок (5...8 класса), чем изготовленных в песчано-глинистых формах, так как оболочка твердеет на модели и сохраняет её размеры. Литьё в оболочковые формы применяют в крупносерийном и массовом производствах при получении ответственных фасонных мелких и средних отливок из различных сплавов.

Оболочковые формы изготавливают следующим образом: металлическую модельную плиту, нагретую до температуры 2500 °С, закрепляют на опрокидывающем бункере с формовочной смесью и поворачивают его на 180°. Формовочная смесь состоит из 93...96% мелкозернистого и 4...7% терморезистивной смолы.

При повороте смесь насыпается на разогретую модельную плиту, терморезистивная смола в пограничном слое переходит в жидкое состояние, при этом образуются песчаные оболочки толщиной 5...20 мм в зависимости от времени выдержки, которой составляет 10...30с. Бункер возвращается в исходное положение, излишки формовочной смеси ссыпятся на дно бункера, а модельная плита с полутвёрдой оболочкой 4 снимается с бункера и нагревается в печи при температуре 300...350 °С в течение 1...1,5 мин, при этом терморезистивная смола переходит в твёрдое необратимое состояние. Оболочка снимается с модели с помощью толкателя. Таким же образом изготавливают и вторую полуформу. Готовые оболочковые формы склеивают клеем на специальных прессах, предварительно установив в литейные стержни, или скрепляют скобами. Литейные стержни тоже изготавливают таким же способом как и оболочки. Оболочковые формы и стержни изготавливают на одно- и многопозиционных автоматических машинах. Заливка форм производится в вертикальном или горизонтальном положении.

При заливке в вертикальном положении литейные формы помещают опоки-контейнеры и засыпают кварцевым песком или металлической дробью для предохранения от преждевременного разрушения оболочки при заливке расплава. Выбивку отливок проводят на специальных выбивных или вибрационных установках. При очистке отливок удаляют заусенцы, зачищают на шлифовальных кругах места подвода питателей и затем их подвергают дробеструйной обработке.

Литьё в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок, так как формовочная смесь, обладая высокой подвижностью, даёт возможность получать чёткий отпечаток модели. Точность отпечатка не нарушается потому, что оболочка снимается с модели без расталкивания. Повышенная точность формы позволяет в 2 раза снизить припуски на механическую обработку отливок. Применяя мелкозернистый кварцевый песок для форм, можно снизить шероховатость поверхности отливок. Высокая прочность оболочек позволяет изготавливать формы тонкостенными, что значительно сокращает расход формовочных материалов и т.д. В оболочковых формах изготавливают отливки с толщиной стенки 3...15 мм и массой 0,25...100 кг для автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин из чугуна, углеродистых сталей, сплавов цветных металлов.

4.11. Литьё по выплавляемым моделям

Сущность метода, литьё по выплавляемым моделям, состоит в том, что по неразъёмной легкоплавкой модели изготавливают неразъёмную разовую форму. Отливки получают путём заливки расплава в образовавшуюся полость, после выплавки легкоплавких моделей в форме. Отливки, получаемые этим имеют высокую точность и чистота поверхности. Этим способом

производят отливок очень сложной конфигурации из любых сплавов и применяют для получения отливок от 0,02 до 100 кг, с толщиной стенок до 0,5 мм и отверстиями диаметром до 2 мм. Технологические операции для получения отливок литьём по выплавляемым моделям состоит из следующих этапов:

- а) изготовление чертежа отливки;
- б) согласно чертежа отливки разработать чертёж пресс-формы;
- в) изготовление разъёмных пресс-форм из конструкционной стали;
- г) изготовление неразъёмных моделей в пресс-форме;
- д) изготовление неразъёмной разовой формы по легкоплавким моделям;
- е) выплавление моделей из формы;
- ж) обжиг формы;
- з) заливка формы металлом и выбивка готовых отливок.

Модельный состав, состоящий из легкоплавких компонентов – парафина, стеарина, церезина, и др., в пастообразном состоянии запрессовывают в пресс – формы. После затвердевания модельного состава пресс – форма раскрывается и модель выталкивается в ванну с холодной водой. Далее модели собирают в модельные блоки с общей литниковой системой. В один блок объединяют от нескольких до сотни моделей в зависимости от размеров отливок. Для изготовления литейную форму, готовый блок моделей окунают в огнеупорную смесь 5, представляющую собой суспензию следующего состава: 60...70% маршаллита и 30...40% гидролизованном этилсиликате с последующей обсыпкой кварцевым песком в специальной установке, далее модельные блоки сушат в течение 2...2.5 часа на воздухе. На модельный блок наносят 4...6 слоёв огнеупорного покрытия с последующей сушкой каждого слоя, при этом покрытие, прилипая к сырой плёнке, образует огнеупорный слой.

4.12. Изготовление отливок центробежным литьём

Сущность технологического процесса центробежного литья состоит в том, что расплав заливают в вращающуюся с определённой скоростью литейную форму, которой изготавливают, в основном, из чугуна и стали. Она вращается в течение всего времени кристаллизации металла отливки. При этом металл центробежной силой прижимается к стенкам формы, что обеспечивает получение плотных, с повышенной прочностью отливок, так как газы и шлак, обладающие меньшей плотностью в результате сепарации, вытесняются во внутренние полости отливки и затем их удаляют механической обработкой. Ось вращения формы может быть горизонтальной, вертикальной и наклонной. Если диаметр отливки значительно меньше её длины (трубы, гильзы, втулки), то ось вращения формы размещают горизонтально.

Этот способ применяют в серийном, массовом и индивидуальном производстве отливок из различных сплавов для изготовления труб, цилиндрические втулки, гильзу автотракторных двигателей, заготовки для поршневых колец, шестерни, орудийные стволы, шкивы, а также двухслойные биметаллические отливки.

4.13. Кокильное литьё

Сущность кокильного литья заключается в том, что вместо разовой песчано-глинистой используют металлическую форму, называемую кокилем. Обладая по сравнению с песчано-глинистыми формами приблизительно в 60 раз более высокой теплопроводностью, кокили обеспечивают мелкозернистую структуру отливок, что повышает их прочность. При кокильном литье отпадает необходимость в модельно-опочной оснастке, в формовочных и стержневых смесях, что не только даёт большую экономию, но и снижает количество пыли и улучшает санитарные условия труда; повышается точность и чистота поверхности отливки; обслуживание кокилей не требует рабочих высокой квалификации; значительно повышается производительность и уменьшаются необходимые производственные площади.

Технологический процесс кокильного литья можно легко механизировать. Механизированные кокили имеют устройство, позволяющее закрывать и раскрывать их от пневмати-

ческого или гидравлического привода. При массовом производстве несколько кокильных машин устанавливают на вращающиеся карусели, поворачивающиеся на необходимый угол через определённое время, за которое производится заливка кокиля.

Наряду с преимуществами у кокильного литья есть и недостатки: высокая стоимость кокилей позволяет использовать их только в серийном и массовом производствах; опасность образования трещин в отливках из-за неподатливости металлического кокиля; чугунные отливки в кокиле получают отбеленными и требуют длительного отжига, что удорожает их производство. Кокильное литьё применяют в условиях крупносерийного и массового производств при изготовлении несложных по конфигурации отливок с толщиной стенок от 3 до 100 мм из чугуна, стали и цветных металлов.

Конструкции кокилей различают: вытряхные; вертикальным разъемом и с горизонтальным разъемом. Полости в отливках оформляют песчаными, оболочковыми или металлическими стержнями. Кокили с песчаными или оболочковыми стержнями используют для получения отливок сложной конфигурации из чугуна, а с металлическими стержнями – для отливок из алюминиевых и магниевых сплавов. Для изготовления сложных по конфигурации отливок применяют разъемные стержни, из нескольких частей кокиля для изготовления автомобильного поршня с разъемным металлическим стержнем.

Изготовление отливок в кокиле состоит из последовательных технологических операций – очистка кокиля от старой облицовки, нанесение огнеупорной краски на внутренние полости, сборка кокиля с установкой стержней, заливка сплава в кокиль, выдержка отливки в кокиле, снятие стержней и удаление из кокиля отливки.

4.14. Литьё под давлением

Сущность метода литья под давлением состоит в том, что жидким металлом принудительно заполняют металлическую пресс-форму под давлением, которое поддерживают до полной кристаллизации отливки. Давление обеспечивает быстрое и хорошее заполнение формы, высокую точность и малую шероховатость поверхности отливки. Принудительное питание отливки жидким металлом исключает возможность образования усадочных раковин, пористости и не требует установки прибулей.

Ускоренная кристаллизация металла в металлической пресс-форме под давлением обуславливает образование мелкозернистой структуры. Благодаря внешнему давлению растворённые в металле газы остаются в твёрдом растворе, что снижает газовую пористость металла. Отливки, полученные этим методом, как правило, не имеют припусков на механическую обработку и после удаления из формы являются готовыми деталями.

Литьём под давлением можно получать отливки с толщиной стенки до 0,5 мм, сложной конфигурации и с отверстиями диаметром до 1 мм. Высокая стоимость пресс-форм, имеющих сложную конфигурацию и требующих высокой точности изготовления, обуславливает целесообразность применения литья под давлением только в крупносерийном и массовом производствах тонкостенных отливок достаточно сложной конфигурации из сплавов цветных металлов массой до 50 кг. Литьё под давлением осуществляют на компрессорных и поршневых машинах высокой производительности, дающих 200–400 отливок в час. Машины литья под давлением различаются на машины с холодной и горячей камерами прессования расположенной горизонтально или вертикально.

На машинах с горизонтальной камерой прессования порцию жидкого металла заливают в камеру прессования, который плунжером под давлением до 100 МПа подаётся в полость пресс-формы, состоящей из неподвижной и подвижной полуформ. Внутреннюю полость в отливке получают стержнем.

В процессах заливки и прессования рабочие поверхности нагреваются за счёт теплоты передаваемой из жидкого расплава. Поэтому литьё под давлением применяют для изготовления отливок из легкоплавких металлов и сплавов, из медных, алюминиевых, магниевых цинковых сплавов массой до 45 кг.

К недостаткам литья можно отнести – высокая стоимость пресс-форм и оборудования, невозможность изготовить крупногабаритных отливок, образование воздушной пористости в массовых частях отливок и т. п.

Преимуществами этого способа являются: возможность получить тонкостенных отливок, высокая чистота поверхности и точность, что почти не требует механической обработки отливок, высокая производительность и т. п.

4.15. Пути повышения эксплуатационных характеристик технологической оснастки

В литейном производстве применяют различные технологические оснастки: металлические модели для получения песчано-глинистых разовых форм, кокиле –металлические формы для получения отливок из чёрных и цветных металлов, пресс-формы для прессования отливок под давлением и т.п.

Указанные оснастки работают в различных условиях –на абразивный износ, изнашивание при высоких температурах, циклических температурно-силовых воздействиях и т.п.

Применяемые технологические оснастки в литейном производстве изготавливаются из дорогостоящих сталей и сплавов. Технология их изготовления требует трудоёмкие и высокоточные методы обработки. В себестоимости выпускаемой продукции 25...40% составляет стоимость технологической оснастки. Поэтому продления срока службы технологической оснастки является одним из главных факторов определяющих эффективности производства.

Металлические модели, применяемые в машинной формовки серийном и массовом производстве, которые изготавливают преимущественно из алюминиевых сплавов, а также из серого чугуна.

Высокие скорости нагружения и деформации формовочной смеси приводят к быстрому износу модельной оснастки. Поэтому, с целью повышения долговечности таких дорогостоящих оснасток применяют различные методы поверхностного упрочнения. К таким методам относятся хромирование, борирование, а также нанесение различных покрытий. Однако, эти способы очень трудоёмкие и дорогостоящие. В последнее время с этой целью применяется карбонитрирование, т. е. Совместное насыщение поверхностных слоёв модельной оснастки углерода и азота, при температуре 540...600 °С. После такой обработки на поверхности образуются высоко износостойкие карбонитриды и нитриды – $Fe_3(CN)$ и Fe_4N . Срок службы карбонитрированной модельной оснастки увеличивается в 1,8...2,0 раза.

Кокиле для получения отливок методом литья в металлические формы изготавливаются из чёрного чугуна или же из углеродистых и легированных сталей. Они испытывают высокотемпературное воздействие на поверхностные слои кокиля. При циклических нагревах и охлаждении происходит разупрочнение. Поверхности формы изменяются размеры кокиля, появляются усталостные разгарные трещины и т. п.

Для повышения срока службы таких форм применяются методы защиты поверхностей от температурных воздействий или же повышения жаростойкости формообразующих контактных поверхностей.

Для защиты от температурных воздействий применяют облицовки стенок кокиля различными огнеупорными красками и смесью кварцевого песка и термореактивной смолой. Наиболее сложные кокили подвергают поверхностному упрочнению методами хромирования, борирования, хромотитанирования и т. п. Срок службы упрочненных кокилей повышаются в 2...3 раза.

Пресс-формы литья под давлением испытывают высокое давление, цилиндрические температурные воздействия на поверхностные слои, и трения с жидким металлом и химические воздействия на материал формы. Поэтому пресс-формы изготавливают из дорогостоящих теплостойких сталей содержащих вольфрам, молибден и хром. Для повышения эксплуатационной стойкости таких дорогостоящих пресс-форм применяют различные способы поверхностного упрочнения. Широко применяют для этих целей азотирование с целью образо-

вания на рабочих поверхностях более износостойкие нитриды и карбонитриды. Азотирование проводится в среде аммиака при температуре 520...580 °С в течении 8...24 часов.

Отличные результаты дают электролитное и диффузионное хромирование пресс-форм для литья под давлением. Стойкость пресс-форм после хромирования повышается в 3...4 раза. Однако все эти технологические процессы упрочнения требуют оборудование, капитальные затраты и трудовые ресурсы, что удорожает себестоимость пресс-форм.

Более экономичным методом продления срока службы пресс-форм является упрочнение рабочих поверхностей пресс-форм при эксплуатации, разработанной автором этой книги. С целью уменьшения коэффициента трения между пресс-формами и отливкой и охлаждения нагретых поверхностей формы в процессе работы пресс-форм регулярно охлаждают смазочно-охлаждающими жидкостями. В качестве смазочно-охлаждающих жидкостей применяют масла ЛД, индустриальное масло с различными добавками. Такие смазки содержат углеводороды, которые при температуре прессования разлагаются на атомы С, Н и других радикалов. При длительной работе на нагретой поверхности, до 500...600 °С, пресс-формы накапливают продукты разложения. Из этих продуктов углерод и кислород образуют химические соединения с железом материала пресс-формы типа цементита и окиси железа. Эти соединения обладают высокой хрупкостью. При циклических нагревах и охлаждении и силовых воздействиях происходит их выкрашивание, в результате чего образуются разгарные трещины.

С целью продления срока службы пресс-форм в смазочно-охлаждающие жидкости добавляют азото- и серосодержащие вещества. В результате в рабочей зоне, кроме указанных радикалов дополнительно из смазочно-охлаждающей жидкости выделяются атомы азота и серы. Азот совместно с углеродом на рабочих поверхностях образуют карбонитриды с высокой износостойкостью и теплостойкостью. Таким образом повышается эксплуатационная стойкость пресс-форм в 1.5...2 раза, без дополнительных капитальных и трудовых затрат.

4.16. Дефекты отливок, причины возникновения и методы их устранения

Дефекты отливок делятся на исправимые и не исправимые. Причинами дефектов могут быть нарушения технологии изготовления литейных форм и стержней приготовления жидкого металла и заливки, температуры жидкого металла, условия охлаждения отливок, свойства исходных материалов и т.п.

Дефекты отливок можно классифицировать по следующим признакам: трещинам, раковинам, заливам и недоливам и короблению.

Классификация по трещинам. К ним относится горячие и холодные трещины.

Горячие трещины в отливках возникают в процессе кристаллизации и усадки металла при переходе из жидкого состояния в твердое при температуре близкой к температуре солидуса. горячие трещины проходят по границам кристаллов и имеют окисленные поверхности. Склонность сплавов к образованию горячих трещин увеличивается при наличии неметаллические включений, газов (водорода, кислорода), серы и других примесей. Кроме того, образование горячих трещин вызывают резкие переходы от тонкой части отливки к толстой, острые углы, выступающей части и т. д. Высокая температура заливки способствует увеличению зерна металлической структуры и увеличению перепада температуры в отдельных частях отливки, что повышает вероятность образования трещин.

Для предупреждения возникновения горячих трещин в отливках необходимо создавать условия, способствующие формированию мелкозернистой структуры; обеспечивать одновременное охлаждение тонких и толстых частей отливок; увеличивать податливость литейных форм; по возможности снижать температуру заливки сплава и т. п.

Холодные трещины возникают в области упругих деформаций, когда сплав полностью затвердел. Тонкие части отливки охлаждаются и сокращаются быстрее, чем толстые. В результате в отливке образуются напряжения, которые и вызывают появление трещин. Холодные трещины чаще всего образуются в тонкостенных отливках сложной конфигурации и тем

больше, чем выше упругие свойства сплава, чем значительнее его усадка при пониженных температурах и чем ниже его теплопроводность. Опасность образования холодных трещин в отливках усиливается наличием в сплаве вредных примесей (например, фосфора в сталях).

Для предупреждения образования холодных трещин необходимо обеспечивать равномерное охлаждение отливок во всех сечениях путём использования холодильников; применять сплавы для отливок с высокой пластичностью; проводить отжиг отливок и т.п.

Классификация по раковинам. К ним относятся усадочные, газовые, песчаные и шлаковые раковины. Усадочные раковины образуются в утолщённых местах отливки, а так же при неправильном подводе металла в форму или из-за высокой температуры заливаемого металла. Усадочные раковины в виде открытых или закрытых пустот в теле отливки, имеющие шероховатую поверхность. С целью устранения таких раковин на отливки устанавливают прибыли-резервуара с расплавленным металлом, которые обеспечивают доступ расплавленного металла к участкам отливки затвердевающим последними. При этом усадочная раковина образуется на верхней части прибыли, которую отрезают.

Газовые раковины – пузыри воздуха или газов в теле отливки, имеющие чистую гладкую поверхность округленной формы. Они образуются при недостаточной газопроницаемости, повышенной влажности формовочных и стержневых смесей или чрезмерно плотной набивке формы.

Для уменьшения газовых раковин в отливках плавку следует вести по слоям флюсы, в среде защитных газов с использованием хорошо просушенных шихтовых материалов. Кроме того, перед заливкой расплавленный металл необходимо подвергать дегазации вакуумированием, или упругими методами, а также поддерживать формы и увеличивать газопроницаемость литейных форм и стержней.

Песчаные и шлаковые раковины – открытие или закрытие пустоты в теле отливки, заполненной формовочной смесью или шлаком. Причиной может быть низкая прочность формы из-за слабой набивки, неправильной конструкции литниковой системы и недостаточной огнеупорности формовочных и стержневых смесей.

Классификация по заливам и недоливам.

Заливы – тонкие, не предусмотренные чертежом, выступы на отливке вдоль разъема формы и образуются при недостаточной нагрузке формы.

Недоливы – неполная отливка. Причиной может быть плохая жидко текучесть, низкая температура заливки, малое сечение питателей, утечка расплава из формы и малая толщина стенки отливки.

Коробление – или перекокс-смещение одной части отливки относительно другой, возникающее в результате небрежной сборки формы, неправильной установки стержней и других причин. Изменение формы и размеров отливки под влиянием внутренних напряжений, возникающих при охлаждении отливки.

V. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

5.1. Физическая сущность обработки металлов давлением

Обработка металлов давлением основана на их способности пластически деформироваться в результате воздействия на деформируемое тело внешних сил.

Деформации делятся на упругие и пластические. Если при воздействии на металл внешних сил атомы кристаллической решётки перемещаются относительно друг друга на расстояние меньше периода кристаллической решётки, то после снятия нагрузки атомы возвращаются (рисунок 5.1, а) на свои места, то такие деформации называются упругими деформациями. Целью обработки металлов давлением является изменение формы заготовки с помощью формообразующего инструмента, т. е. Деформации должны быть остаточными. Такие деформации называются – пластическими деформациями. Пластическая деформация

заключается в перемещении атомов друг друга на расстояния больше периода кристаллической решётки (рисунок 5.1, б).

При перемещении атомов в одной кристаллической плоскости без изменений расстояний между этими плоскостями силовое воздействие атомов не исчезает, и деформация протекает без нарушения плотности тела. При перемещении атомов по определённым плоскостям кристаллической решётки происходит сдвиг одной части кристалла относительно другой (рисунок 5.1, а). Однако такой сдвиг происходит путём постепенного перемещения микро скачками вдоль плоскости скольжения дефектов кристаллического строения. При одновременном сдвиге одной части кристалла относительно другой потребовались бы напряжения, в сотни и тысячи раз превышающие наблюдаемые при его деформировании, при деформации металлов.

Пластические деформации в зависимости от химического состава металла ограничиваются, при определённых её значениях может начаться разрушение металла. Величина пластической деформации, которую можно достичь без разрушения называется предельной деформацией.

Преимущество обработки металлов давлением по сравнению с обработкой резанием, является возможность значительного уменьшения отхода металла, а также повышение производительности труда.

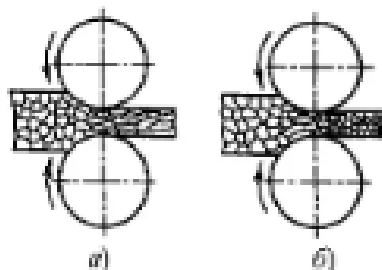


Рисунок 5.1. Схема сдвига и изменения строения металла при его деформировании

Поэтому обработка давлением характеризуется высоким коэффициентом использования металла. Эти особенности позволяют непрерывное возрастание роли обработки металлов давлением.

5.2 Факторы, влияющие на пластичность металла

Пластичность обрабатываемого материала является главным фактором определяющей экономической эффективностью обработки давлением. На пластичность металла влияют следующие факторы: химический состав металла, температуры нагрева заготовки перед обработкой, скорость деформации и напряжённое состояние в элементарно малом объёме.

Влияние химического состава. Наибольшей пластичность обладают чистые металлы. Сплавы твёрдые растворы обычно более пластичны, чем сплавы, образующие химические соединения. Компоненты сплава также влияют на его пластичность. С повышением содержания углерода в стали пластичность уменьшается. При содержании углерода свыше 1.5% сталь с трудом поддаётся ковке. Кремний понижает пластичность стали. Поэтому кипящая малоуглеродистая сталь (08кп, 10кп) с малым содержанием кремния применяется при изготовлении деталей холодной штамповкой глубокой вытяжкой. В легированных сталях хром и вольфрам уменьшают, а никель и ванадий повышают пластичность стали. Сера, соединяясь с железом, образует сульфид железа FeS , который в виде эвтектики располагается по границам зёрен и при нагревании до $1000\text{ }^{\circ}C$ расплавляется. В результате связь между зёрнами нарушается и сталь становится хрупкой. Такое явление называется красноломкостью. Марганец, образуя тугоплавкое соединение (MnS), нейтрализует вредное действие серы. Фосфор

увеличивает пределы прочности и текучести, но уменьшает, особенно при низких температурах, пластичность и вязкость стали, вызывая её хладноломкость.

Температура нагрева заготовки. При нагреве металла дефекты кристаллической решётки, которые упрочняют металл, рассасываются, что сопровождается уменьшением его временного сопротивления к деформациям. с повышением температуры нагрева металла улучшается пластичность.

При нагреве металла до температуры, близкой к температуре плавления, наступает пережог, выражающийся в появлении крупной окисной плёнке между зёрнами металла. При этом происходит полная потеря пластичности, которая называется пережогом и является неисправным браком. Ниже этой температуры находится зона перегрева, заключающийся в резком росте размеров зёрен. Крупнозернистое строение придаёт металлу пониженные механические свойства. такой нагрев называется перегревом, которой является исправимым браком. Перегретые заготовки подвергают отжигу.

Оптимальную температуру нагрева заготовки ниже температуры перегрева, а заканчивается при определённой температуре, ниже которой пластичность в следствие упрочнения падает и в изделие возможно образование трещин. Каждый металл имеет свой строго определённый температурный интервал горячей обработки давлением и выбирается по табличным данным.

Скорость деформации это изменение стержней деформации dE/dt в единицу времени. Скорость деформации в прессах и ковочных машинах составляет 0.1...0.5 м/с, а на молотах – 5...10 м/с. При высокоскоростной штамповке, штамповке взрывом и электромагнитной штамповке она достигает до 30 м/с.

С увеличением скорости деформации предел текучести возрастает, а пластичность падает.

Напряжённое состояние в элементарно малом объёме характеризуется схемой главных напряжений.

Схемы с напряжениями одного знака называют одноимёнными, а с напряжениями разных знаков – разноимёнными. Условно растягивающие напряжения считают положительными, а сжимающие отрицательными. В реальных процессах обработки давлением в большинстве случаев происходит объёмное напряжённое состояние.

Совокупность схем главных напряжений и главных деформаций позволяет судить о характере главных напряжений и деформации при различных видах обработки давлением и пластичности металла; чем больше сжимающие напряжения, тем выше пластичность обрабатываемого металла.

5.3. Влияние обработки металлов давлением на структуру и свойства металла.

Наклёп и рекристаллизация

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

При холодной деформации сопротивление металла к деформациям повышенное, при этом в результате процессов скольжения зёрна меняют свою форму и размеры. До деформации зерно имело округлую форму (рисунок 5.2), после деформации в результате смещения по плоскостям скольжения зёрна вытягиваются в направлении деформации, образуют при этом волокнистое строение. С увеличением степени деформации прочность (σ_b) и твердость НВ повышаются, а пластические свойства, относительное удлинение δ и относительное сужение φ уменьшаются. Это явление получило название наклеп. При этом искажается кристаллическая решётка создавая растягивающие напряжения; в следствии наклепа снижается способность металла к пластической деформации. Дальнейшие деформации потребуют увеличить усилия, что возникают трещины, т. е. Нарушается сплошность тела. Для продолжения деформаций необходимо восстанавливать структуру наклепанного металла. При нагреве происходит рассасывание дефектов. Нагрев в температурном интервале 0.15...0.2 $T_{пл}$ ($T_{пл}$ –

температура плавления металла), кристаллическая решётка восстанавливается, частично снимается напряжение, незначительно снижается твёрдость и прочность, повышаются пластические свойства. Это явление называется возвратом или отдыхом.

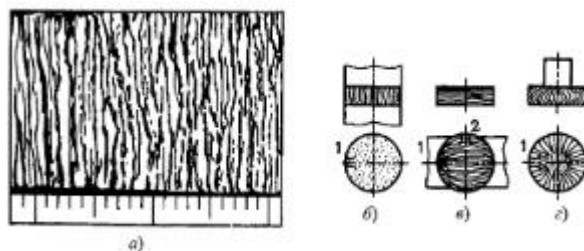


Рисунок 5.2 Изменение строения металла при холодной деформации
А- исходное состояние; Б- после деформации, наклёп; В- возврат; Г - рекристаллизация

Дальнейшее повышение температуры способствует ускорению диффузионных процессов, в результате чего образуются равноосные зёрна взамен вытянутых. Такое явление получило название рекристаллизация. Температура рекристаллизации зависит от температуры плавления металла ($T_{пл}$) и химического состава и определяется по формуле: $T_{рек} = AT_{пл}K$, где A - коэффициент чистоты металла.

Для химически чистых металлов $A=0.2$, технически чистых $A=0.4$, легированных $A=0.6...0.7$ и для высоко легированных $0.8...0.9$.

Формоизменение заготовки при температуре выше температуры рекристаллизации сопровождается одновременным протеканием упрочнения и рекристаллизации.

Холодная обработка металлов давлением производится при температурах ниже температуры рекристаллизации и сопровождается наклёпом металла. Для разных металлов эти температуры резко отличаются. Например: для свинца при обработке давлением в комнатной температуре называется горячей обработкой, т.к. температура рекристаллизации свинца составляет $-30...35$ °С, а для молибдена вольфрама нагрев при 1000 °С считается холодной обработкой.

Горячая обработка давлением производится при температурах выше температуры рекристаллизации.

5.4. Основные виды обработки металлов давлением

Основными видами обработки давлением являются прокатка, прессование, волочение, ковка, объёмная и листовая штамповки.

Прокаткой называют обжатие металла вращающимися валками. Ею получают изделия с постоянным по длине поперечным сечением (прутки, рельсы, листы, трубы, балки) или с периодически изменяющейся по длине формой. При прокатке схема главных напряжений соответствует объёмному сжатию с максимальным напряжением в направлении давления валков, а схема главных деформаций может быть с двумя деформациями растяжения или двухосная схема деформации при прокатке с натяжением.

Прессование заключается в продавливании нагретого металла, находящегося в замкнутом объёме, через отверстие в матрице форма и размеры поперечного сечения выдавливаемых прутков соответствуют форме и размерам этого отверстия. При прессовании напряжённое состояние характеризуется схемой объёмного сжатия и схемой деформации.

Волочение представляет собой протягивание заготовки через отверстие в волочильной матрице (волоке). Волочением получают тонкие сорта проволоки, калиброванные прутки, тонкостенные трубы.

Ковка- процесс деформирования нагретой заготовки между бойками молота или пресс. Изменение формы и размеров заготовки достигается последовательным воздействием бойков или инструмента на различные участки заготовки.

Объёмная штамповка заключается в одновременном деформировании всей заготовки в специализированном инструменте – штампе на молотах, прессах или горизонтально – ковочных машинах. форма и размеры внутренней полости штампа определяют форму и размеры заготовки.

Листовая штамповка предназначена для получения плоских и объёмных полых деталей из листа и полосы с помощью штампов на холодноштамповочных прессах (рисунок 5.3е).

5.5. Прокатное производство

Характеристика процесса. Прокатка – вид обработки давлением, при котором заготовка обжимается двумя вращающимися валками прокатного стана.

Деформация металла при прокатке происходит на небольшом участке АВВ1А1 (рисунок 5.6а), который называется зоной деформации. По мере вращения валков и перемещения заготовки вперед она передвигается по прокатываемому металлу. Дуга АВ называется дугой захвата, а центральный угол α , отвечающий этой дуге, – углом захвата. При прокатке увеличивается длина и ширина заготовки и уменьшается ее толщина. Относительное уменьшение толщины заготовки в процессе прокатки $\mathcal{E} = (h_0 - h_1)/h_0$ называется относительное обжатие или степенью деформации (в %). Максимальное значение относительного обжатия в зависимости от типа изделия составляет 0.2...0.5. Уширение заготовки в процессе прокатки составляет 5-10 % от величины обжатия. Отношение длины заготовки после прокатки l_1 к исходной l_0 , равное, если пренебречь уширением, отношению площадей поперечного сечения первоначального F_0 к полученному F_1 , называется коэффициентом вытяжки μ :

$$\mu = l_1/l_0 = F_0/F_1.$$

Это одна из основных характеристик процесса прокатки. Величина её за один проход заготовки составляет обычно 1.1...1.6, а иногда достигает 2...2.5.

Основные виды прокатки. Различают три основных вида прокатки: продольную, поперечную и поперечно–винтовую.

При продольной прокатке (рис. 5.6а) заготовка перемещается перпендикулярно к осям валков, которые вращаются в противоположных направлениях. До 90 % всего проката изготовляют продольной прокаткой (листы, полосы, прутки).

При поперечной прокатке (рис. 5.6б) валки с параллельными осями вращаются в одном направлении и вращают заготовку, которая деформируется, перемещаясь вдоль оси валков.

Поперечно–винтовая прокатка (рис. 6.5в) осуществляется вращающимися в одном направлении и расположенными под углом друг к другу валками. Этим методом в основном изготавливаются бесшовные трубы и изделия с переменным по длине сечениям.

5.6. Продукты прокатного производства

Форму поперечного сечения прокатного изделия называют профилем. Совокупность форм и размеров профилей называют сортаментом. Сортамент прокатываемых профилей делятся на четыре основные группы: сортовой прокат, листовой, трубы и специальные виды проката. Сортовой прокат делят на профили простой геометрической формы (квадрат, круг, шестигранник, прямоугольник) и фасонные (швеллер, рельс, угловой и тавровый профили и т.д.). круглую и квадратную сталь прокатывают соответственно с диаметром или стороной квадрата 5...250 мм; шестигранную – с диаметром вписанного круга 6...100 мм; полосовую – шириной 10...200 мм и толщиной 4...60 мм.

Цветные металлы и их сплавы прокатывают преимущественно на простые профили – круглый, квадратный, прямоугольный.

Листовой прокат из стали и цветных металлов используют в различных отраслях промышленности. В связи с этим листовую сталь, например, делят на автотракторную, трансформаторную, кровельную жёсть и т.д. Расширяется производство листовой стали с оловянным, цинковым, алюминиевым и пластмассовым покрытиями. Кроме того, листовую сталь разделяют на толстолистовую (толщиной 4...160 мм) и тонколистовую (толщиной менее 4

мм). Листы толщиной менее 0.2 мм называют фольгой. Трубы разделяют на бесшовные и сварные. Бесшовные трубы прокатывают диаметром 30...650 мм с толщиной стенки 2...160 мм из углеродистых и легированных сталей, а сварные – диаметром 5...2500 мм с толщиной стенки 0.5...16 мм из углеродистых и низколегированных сталей. К специальным видам проката относят колёса, кольца, шары, периодические профили с периодически изменяющейся формой и площадью поперечного сечения вдоль оси заготовки.

5.7. Технология производства основных видов проката

Сортовой прокат. Полупродуктом для получения сортового проката является блюм, которые получают на блюмингах из слитков. Блюм – эти крупные заготовки квадратного или прямоугольного сечения от 140×140 мм, до 450×450 мм. На заготовочных и сортовых станах заготовка (блюм) последовательно проходит через ряд калибров.

Системы последовательных калибров, необходимых для получения данного профиля, называют калибровкой. Число калибров зависит от размера и формы профиля и достигает до 21 для получения проволоки диаметром 6.5 мм. После прокатки полосы режут на мерные длины, охлаждают, правят в холодном состоянии, подвергают термической обработке, очищают поверхности и т.д.

Листовой прокат. Полупродуктом для получения листового проката являются слябы, которые получают на слябингах из слитков. Сляб – заготовки прямоугольного сечения, у которых отношение ширины к толщине находится в пределах 3×12. Наибольшие размеры слябов 2000×350 мм, наименьшие 500×100 мм.

Исходным материалом для тонколистовой холодной прокатки обычно служат горячекатаные рулоны. Предварительно горячекатаный лист очищают травлением в кислотах с последующей промывкой. После холодной прокатки материал проходит отдельные операции: отжиг в защитных газах, нанесение в случае необходимости различных покрытий, разрезку на мерные размеры и другие.

Листы, предназначенные для холодной листовой штамповки, после отжига дополнительно прокатывают с обжатием 0.5÷3.0 %. Наклёпанные при этом и травленные для снятия окалины листы называют декапированными.

Прокатка бесшовных труб. Исходным материалом для бесшовных труб являются катанные заготовки круглого сечения диаметром 120...320 мм. Наибольшее применение при производстве бесшовных труб получили прошивные станы с двумя бочкообразными валками, оси которых расположены под углом 5...15 °С друг к другу.

Рабочие валки и поддерживающие ролики вращаются в одном направлении, при этом заготовка получает винтообразное движение. Одной из основных особенностей поперечно-винтовой прокатки является разрушение сердцевины сплошной заготовки. В центре её под действием сжимающих сил возникает сложнапряженное состояние со значительными растягивающими напряжениями в направлении, перпендикулярном действию сил. Радиальные растягивающие напряжения вызывают течение металла от центра и облегчают образование отверстия оправкой. После прошивки и нагрева гильза поступает на автоматические или пилгримовые раскатные станы.

Полученная гильза раскатывает между валками на оправке. Зазор между оправкой и калибром валка определяет толщину стенки трубы. Обкатку, при которой диаметр труб увеличивается за счёт расширения их на оправке, производят на обкатном стане по конструкции аналогичный прошивочному. После обкатки для получения окончательных размеров трубы подвергают калибровке.

Шовные трубы изготавливают из ленты, так называемой штрипсом, или из листов ширина которых соответствует длине окружности трубы. Процесс изготовления сварной трубы включает следующие операции: формовка плоской заготовки в трубы, сварка кромок, редуцирование – уменьшение диаметра трубы.

После формовки применяют различные виды сварки: электродуговые под слоем флюса, местную сварку и т.п. Этим методом можно получать трубы большого диаметра до 2500 мм с тонкой стенкой до 0,5 мм.

Многослойные трубы получают намоткой стальной горячекатаной полосы на барабане, диаметр которого соответствует внутреннему диаметру трубы. Для предотвращения раскрутки обечайки концы полосы привариваются в нескольких точках с торцов. Толщина стенки трубы толщина полосы одна и та же, изменяются только число слоёв. Чтобы устранить зазоры между слоями, обечайку растягивают на специальной разжимной оправке. После сварки и контроля швов на металлорежущем станке обрабатывают торцы обечаек. Такие применяют для транспортировки нефти и газа под высоким давлением.

Специальные виды проката отличаются большим разнообразием. Большое значение проката периодических профилей, которые применяют, как фасонную заготовку для последующей штамповки и как заготовку под окончательную механическую обработку. Периодические профили в основном изготавливают поперечной и поперечно-винтовой прокаткой. На станках поперечно-винтовой прокатки получают не только периодические профили, но и заготовки шаров и сферических роликов подшипников качения.

5.8. Ковка

Ковкой называют процесс обработки давлением, при котором металл деформируется многократным и прерывным воздействием универсального инструмента, постепенно приобретая заданную форму и размеры. Ковка является универсальным процессом кузнечно-штамповочного производства, так как позволяет получать поковки широкого сортамента, массой от нескольких килограммов до 300 тонн и более.

Для изготовления крупных поковок (примерно от 2 тонн и выше) ковка – единственно возможный способ, а поковки меньшей массы получают штамповкой. Свободная ковка экономически выгодна при штучном и мелкосерийном производстве, а штамповка рентабельна при серийном и массовом производствах. Тяжёлые поковки, масса которых измеряется тоннами, изготавливают из слитков. К таким поковкам относят судовые валы, турбинные диски, роторы генераторов, цельнокованные барабаны для котлов высокого давления и др. Поковки массы примерно до 1 тонны: вагонные оси, сцепные крюки, шатуны и коленчатые валы двигателей и др. – получают из блюмов. Для мелких поковок в качестве заготовок используют разнообразный сортовой прокат: круглый, квадратный, полосовой и т.д. В промышленности ковку преимущественно производят на ковочных молотах и ковочных гидравлических прессах. Технологические процессы ковки очень разнообразны, однако всегда являются сочетанием предварительных, основных, вспомогательных и отделочных операций.

К основным операциям относятся: осадка – это операция, при которой за счёт обжатия по высоте увеличивается площадь поперечного сечения заготовки, перпендикулярного деформирующей силе. Если осаживается по высоте только часть заготовки, то операцию называют высадкой. При ковке осадка является основной операцией для получения формы поковки, но может применяться также, как и промежуточная операция для устройства литой структуры или анизотропии свойств металла.

Протяжка (вытяжка) – операция, в процессе которой длина заготовки увеличивается за счёт уменьшения её поперечных размеров при последовательных по длине нажатиях бойками (рис. в). Применяют плоские, вырезанные и закруглённые бойки. Заготовка обжимается по участкам и перемещается (подаётся) в осевом направлении с поворотами вокруг оси.

Два последовательных обжима с поворотом (кантовкой) на 90° называют переходом. Рационально вести процесс протяжки с большой подачей, так как с уменьшением подачи в соответствии законом наименьшего сопротивления уменьшается уширение. Но в этом случае увеличивается число обжатий, необходимых для деформации заготовки, следовательно, снижается производительность процесса. Практически величину подачи принимают равной

0,4-0,7 от ширины бойка в зависимости от размеров заготовки; однако для увеличения скорости протяжки, особенно в начале процесса, можно величину подачи определять как

$$a = (1,5-1,8)b_0,$$

где a - величина подачи;
 b - исходная ширина заготовки.

Применяют несколько видов операций протяжки. Поковки плоской формы получают расплющиванием. Расплющивание (уширение, разгонка) - это увеличение ширины заготовки за счёт обжатия по высоте.

При ковке применяют протяжку на оправке: длина полой заготовки увеличивается за счёт утонения ее стенки. Оправка имеет небольшую конусность, верхний боек плоский, а нижний боек вырезной. Внутренний диаметр заготовки изменяется незначительно, а оправка калибрует внутреннее отверстие. Во времяковки заготовка с оправкой периодически поворачивается и подается под бойки. На оправке производят также раскатку - операцию, при которой увеличивается диаметр за счет уменьшения толщины стенки исходной полой заготовки. Оправка служит опорой заготовки по ее внутренней поверхности и установлена на козлах. Применяют цилиндрическую оправку и узкий верхний боек, длинная сторона которого параллельна оси поковки. После каждого обжатия оправка или заготовка поворачивается вокруг оси, подавая под боек новый участок заготовки. Периодически поковку снимают с оправки и подвергают правке. Раскатка на оправке используется при ковке колец, обечаек, барабанов и т. п. и часто сочетается с протяжкой.

Гибка - кузнечная операция, с помощью которой заготовке придают изогнутую форму по заданному контуру. Гибка используется при изготовлении угольников, скобок, крюков, кронштейнов, лап, кулис и т. п. В результате гибки первоначальная форма поперечного сечения заготовки искажается с уменьшением площади в зоне изгиба.

Закручивание - кузнечная операция, посредством которой одну часть заготовки поворачивают по отношению к другой под определенным углом вокруг общей продольной оси. Закручивание применяется при изготовлении коленчатых валов с коленами, расположенными в различных плоскостях, стальных болтов, стоек для изгородей, спиральных сверл и т. п.

Рубка применяется для разделения заготовки на части, отделения части металла по наружному (обрубка) и внутреннему (вырубка) контурам, частичного разделения заготовки (разрубка). Отход металла при рубке называют обсежкой.

Прошивка - эта операция связана с образованием полости в заготовке за счет вытеснения металла. Сквозную прошивку (пробивку) относительно тонких поволоков ведут на подкладном кольце. Высокие массивные поковки прошивают в два перехода, образовав сперва глухую полость, и, перевернув поковку, прошивают дно. Прошивающим инструментом является сплошной или пустотелый прошивень круглого или фасонного поперечного сечения. В результате прошивки форма заготовки искажается и образуется отход - выдра.

Кузнечную сварку в последнее время используют в основном при ковке мелких поволоков в целях ремонта (для соединения деталей или их частей в настоящее время в основном автогенную сварку и электросварку).

Наряду с уже рассмотренными при свободной ковке употребляют еще многие виды специализированного инструмента. Иногда для производства поволоков сложной формы больших партий: крупных гаечных ключей, фланцев, гаек, крюков и т. д. целесообразно оформлять часть поковки или даже всю поковку в специальном инструменте - штампе, полость которого представляет собой объемное зеркальное отражение формы поковки. Как правило, эти штампы не закрепляют на оборудовании и при выполнении соответствующего перехода устанавливают непосредственно на гладких бойках. Их называют подкладными штампами. Один из таких штампов для формообразования головки гаечного ключа показан на рисунке 137, м. Штамп состоит из двух половин штампа в нем предусмотрены центрирующие угловые шпильки. Используется штамп в концековки после предварительного «фасо-

нирования» заготовки. Применение простейших подкладных штампов в виде колец позволяет резко упростить технологиюковки повысить точность поковок.

5.9. Разработка технологического процессаковки

Разработка чертежаковки - приступая к разработке чертежаковки, вычертите аккуратно тонкими линиями на отдельном листе тетради контур детали, согласно заданному варианту. Постарайтесь выдержать пропорции в размерах. Учтите, что размерыковки будут больше размеров детали за счет припусков и напусков.

Припуск - превышение размеровковки против номинальных размеров детали, обеспечивающей после дополнительной обработки требуемые чертежом размеры детали и шероховатость ее поверхности.

Напуск - увеличение припусков, упрощающих конфигурациюковки ввиду невозможности изготовленияковки по контуру детали.

Допуск - величина допустимого отклонения от номинального размераковки.

Припуски, напуски и допуски регламентированы ГОСТ 7829-70 и ГОСТ 7062-67. Величину припусков и допусков дляковки, получаемых на молотах, определяйте по таблице 1.

Выбор таблицы припусков и допусков для изготовленияковки осуществляется по максимальным (габаритным) размерам детали. В результате проделанной работы получите все необходимые размеры для построения чертежаковки.

Определение массы и размеров заготовки иковки. Масса заготовкиковки подсчитывается по формуле

$$G_{заг} = G_{нок} + G_{отх} + G_{уч},$$

Масса отходов металла на угар при нагреве в пламенной печи принимается равной 3 % массыковки, в электропечах - 2 %, а при нагреве токами высокой частоты - 1 % и 1,25 % для каждого подогрева (повторного нагрева).

Массаковки определяется как произведение суммы отдельных элементарных объемовковки на её плотность:

$$G_{нок} = \gamma V_{нок} = \gamma(V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n),$$

где $V_{нок}$ - объёмковки, см³;
 V_n - объём элементарных частейковки, см³;
 γ - плотность металла, 7,8 г/см³ = 0,0078 кг/см³.

Примеры расчёта объёмов:

$$\text{Для цилиндра } V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{4 \cdot 1000} \approx 0,8 D^2 h / 1000, \text{ см}^3$$

где D, h - диаметр и высота цилиндра, в мм.

$$\text{Для кольца } V = 0,78 \cdot (D^2 - d^2) \cdot h / 1000, \text{ см}^3$$

$$\text{Для усечённого конуса } V = 0,262 \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2) \cdot h / 1000, \text{ см}^3$$

$$G_{отх} = G_{кон} - G_{выд},$$

где $G_{кон}$ - масса концевых обрубков, кг;

$G_{дсл}$ - потери металла при прошивке (вес выдры), кг.

Минимальная масса концевой обрубка для круглых сечений диаметром D :

при ковке под молотом $G_{кон} = 1,23 \gamma \cdot D^3$, кг,

при ковке под прессом $G_{кон} = 1,21 \gamma \cdot D^3$, кг.

По массе заготовки определяется её объём

$$V_{заг} = \frac{G_{заг}}{\gamma}, \text{ см}^3.$$

Площадь сечения исходной заготовки в этом случае определяют из возможности получения необходимого укова по следующей формуле:

$$F_{заг} = y \cdot F_{пок\ max},$$

где y - уков;

$F_{пок\ max}$ - максимальная площадь сечения поковки;

$F_{заг}$ - площадь сечения заготовки.

При ковке на молотах заготовкой служит прокат и потребный уков составляет 1,1...1,3. Таким образом, размеры заготовки рассчитывают по формуле:

$$L_{заг} = \frac{V_{заг}}{F_{заг}}, \text{ см.}$$

где $L_{заг}$ - длина заготовки, см.

$$D_{заг} = 1,13\sqrt{F_{заг}}, \text{ см,}$$

где $D_{заг}$ - диаметр заготовки, см.

Расчёт укова. При увеличении величины укова повышаются механические свойства металла. Поэтому при ковке валов ответственного назначения для увеличения укова применяют промежуточную осадку заготовок. Размеры заготовок, подвергаемых осадке, определяют из условия:

$$y = \frac{S_{заг}}{S_{заг}}.$$

Определение параметров оборудования дляковки. Предпоследний этап работы заключается в определении усилия пресса или веса подающих частей молота для тех операций, с которыми Вам пришлось встретиться раньше. Так, если Вы рассматривали ковку вала без промежуточной осадки, то необходимо определить усилие пресса (или вес молота) только для протяжки. Если вариант охватывал осадку и протяжку или осадку и прошивку, то необходимо определить усилие пресса или вес падающих частей молота для осадки и прошивки.

Усилие гидравлического пресса, необходимое для осадки заготовки круглого сечения, кгс (МН)

$$P = \Psi \cdot \left(1 + 0,17 \frac{D_k}{H_k} \right) \sigma_t \cdot F_k,$$

где Ψ - масштабный коэффициент;

D_k - средний диаметр заготовки после осадки, мм;

H_k - высота заготовки после осадки, мм;

σ_t - предел прочности при растяжении стали при температуре осадки, кгс/мм² (табл

3).

F_k - площадь поперечного сечения заготовки после осадки:

$$F_k = 0,785 D_k^2, \text{ мм.}$$

Значение Ψ при осадке слитков разной массы

| Масса слитка, т | 0,5 | 6,0 | 20 | 50 | 100 |
|--------------------|-----|-----|-----|------|-----|
| Ψ | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,55 | 0,5 |

Данные для определения усилия при ковке на прессах приведены в табл. 4.

Масса падающих частей молота для осадки заготовки круглого сечения определяется по формуле:

$$G = 1,5 \cdot \left(1 + 0,17 \frac{D_k}{H_k} \right) \sigma_t \cdot \varepsilon_k \cdot V_{\text{заг}}, \text{ кг},$$

где ε_k - степень деформации за последний удар. $\varepsilon_k = 0,025$ для крупных и $\varepsilon_k = 0,06$ для мелких поковок;

$V_{\text{заг}}$ - объём заготовки, см³.

Масса падающих частей молота, необходимая для протяжки заготовки, определяется по формуле:

$$G = 1,18 \left(1 + 0,17 \frac{a_0}{D_0} \right) \cdot \sigma_t \cdot \varepsilon \cdot D_{\text{заг}}^2 \cdot a_0, \text{ кг},$$

где a_0 - величина подачи, мм;

ε_0 - степень деформации, принимаемая за один удар, не более 0,3.

Таблица 2

| Марка стали | Значения температуры, °С | | | | | |
|-------------|--------------------------|------|------|------|------|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 |
| Ст 3 | 15,0 | 10,0 | 7,60 | 4,90 | 3,10 | 2,10 |
| 30 | - | 10,0 | 7,90 | 4,90 | 3,10 | 2,10 |
| 65Г | - | 9,90 | 6,75 | 4,30 | 2,64 | 1,52 |
| 40Х | - | 21,4 | 17,3 | 13,1 | 10,0 | 6,90 |
| 38ХС | - | 15,2 | 8,12 | 6,80 | 4,30 | 2,00 |
| 30ХН3А | 19,0 | 13,0 | 9,16 | 6,00 | 4,20 | 2,80 |
| 35ХГСА | 9,70 | 7,40 | 4,20 | 3,60 | 2,20 | 1,80 |
| 38ХВФСА | - | 25,9 | 18,6 | 14,1 | 11,2 | 7,00 |
| 4Х17Н14В2М | - | 25,0 | 16,2 | 8,30 | 3,10 | 2,20 |
| 20Х | 17,4 | 10,7 | 7,60 | 5,30 | 3,80 | 2,50 |
| 12ХН3А | 13,0 | 8,10 | 5,20 | 4,00 | 2,80 | 1,60 |
| 40ХН | 22,8 | 13,5 | 9,30 | 6,30 | 4,50 | 3,20 |
| 18Х2Н4ВА | 22,9 | 11,3 | 6,60 | 4,90 | 2,70 | 1,90 |
| 18ХГТ | 24,0 | 14,0 | 9,70 | 8,00 | 4,40 | 2,60 |
| 50С2 | - | 12,8 | - | 5,20 | 3,80 | 1,70 |

5.10. Горячая объёмная штамповка

Под объёмной штамповкой понимают процесс, при котором металл заготовки деформируется с изменением всех размеров заготовки, принимая форму рабочей поверхности специального инструмента - штампа. Горячую штамповку ведут в интервале температур, обеспечивающих снятие упрочнения.

Преимущество объёмной штамповки перед свободной ковкой - прежде всего в значительно более высокой производительности, в несколько десятков раз по сравнению с ковкой, точности размеров и качества поверхностей изделий. При этом резко сокращается дальнейшая чистовая обработка резанием, уменьшаются отходы на стружку. Штамповкой получают детали сложной формы. Необходимо отметить, что при штамповке для каждойковки в зависимости от размеров и номенклатуры требуется свой специальный штамп, для которой он спроектирован, в отличие от универсального инструмента при ковке.

Штампы представляют собой массивные толстостенные детали, в которых выполнены рабочие полости- гравюры, формообразующие поковку. Штамп состоит минимум из двух частей - половин. Поверхность совпадения частей штампа называют поверхностью разъёма. Штамп, состоящий из нескольких частей, каждая из которых имеет часть общей гравюры, называют многоразъёмным.

Различают открытые и закрытые штампы. В простейшем случае открытый штамп для цилиндрической детали имеет гравюру в одной половине, а вторая половина является плоским бойком. Если объём заготовки в точности равен объёму плоскости гравюры (поковки), то заполнение гравюры будет идеальным. Однако практически трудно получить заготовку точного объёма поэтому её выполняют несколько большей, чтобы гарантировать заполнение гравюры. Избыток металла вытекает в разъём штампа в виде облоя (заусенца). Такую штамповку называют облойной, а штамп - облойным. Облой является отходом и подлежит удалению.

Поковка, упруго разжимая штамп в момент штамповки, сильно охватывается им после снятия нагрузки. Чтобы легче извлечь поковку из штампа его стенки делают наклонными к разъёму. Штамповочный уклон α остаётся в виде напуска на теле поковки.

Закрытые штампы отличаются тем, что гравюра выполняется в одной из половин штампа, а вторая половина входит в первую, запирая её. В таком штампе весь объём металла заготовки остаётся в поковке. Выход для облоя не предусмотрен. Штамп и штамповку называют безоблойными. Штампы подвергают чрезвычайно высоким нагрузкам - механическим и тепловым. При штамповке стали удельные усилия на поверхности гравюры достигают $1 \text{ Гн} / \text{м}^2 (100 \text{ кГ} / \text{мм}^2)$, а температура на контакте с поковкой составляет 700-800 °С. Поэтому штампы изготавливают из закалённой и отпущенной штамповой стали, легированной хромом, никелем, вольфрамом, молибденом, ванадием и т.п. Стойкость горячих штампов невелика - 3000...10 000 шт. Поковок. Учитывая высокую стоимость штампа, следует отметить, что горячая штамповка выгодна для достаточно больших партий деталей (тысяч и десятков тысяч штук).

Штамповку производят на различных машинах: штамповочных молотах, кривошипных горячештамповочных прессах, гидравлических и фрикционных прессах, горизонтальноковочных и горизонтально-гибочных машинах, ковочных вальцах и др.

Из штамповочных молотов наибольшее применение получили паровоздушные молоты двойного действия и приводные фрикционные молоты простого действия.

Паровоздушные штамповочные молоты имеют аналогичный ковочным молотам принцип действия. Они отличаются от ковочных молотов наличием двухстоечной станины непосредственно на шаботе, а также усиленными регулируемыми направляющими для движения бабы, что обеспечивает необходимую точность соударения штампов. Масса падающих частей паровоздушных штамповочных молотов обычно не превышают 20-30 т. Молоты - относительно дешёвое оборудование.

Приводные фрикционные молоты имеют ряд конструктивных разновидностей. Наибольшее распространение получили фрикционные молоты с доской, имеющие массу падающих частей до 5 т.

Как правило, молотые штампы делают монолитными с одной поверхностью разъёма и без выталкивателей. Обе половины штампа закреплены в подушке и бабе забивными клиньями. Обычная штамповка на молоте - облойная ввиду отсутствия выталкивателей и ведётся за несколько ударов.

Когда поковка несложной формы, её штампуют сразу из проката (квадрат, круг, полоса). Для поковок сложной формы исходную заготовку изготавливают специально, чтобы получить максимальное подобие конфигурации заготовки и поковки. Эти операции производят свободной ковкой или штамповкой. Часто применяют многоручьевые штампы, имеющие несколько плоскостей (ручьев) для последовательной деформации заготовки. Технология штамповки может предусматривать последовательное использование ряда штампов, установленных на нескольких молотах или нескольких различных машинах: молотах и прессах, молотах и ковочных вальцах и т.д. В многоручьевых штампах, применяемых для получения заготовки, встречаются следующие основные виды ручьев: штамповочные, заготовительные и отрубной (нож).

Штамповочные ручки бывают окончательными (чистовыми) и предварительными (черновыми).

Заготовительные ручки предназначены для перераспределения массы заготовки по главным осям поковки согласно распределению массы в поковке. К ним относятся формовочный, пережимной, прокатной, протяжной, гибочный ручки.

Окончательный ручей, обязательный для любого штампа, предназначен для уже готовой поковки (с облоем).

Обрезка облоя, образующегося на поковке по линии разъёма в открытых штампах, осуществляется в горячем или холодном состоянии в обрезных штампах на обрезных кривошипных прессах. Последние по принципу действия не отличаются от рассмотренных кривошипных штамповочных прессов. Обрезка заключается в проталкивании поковки пуансоном через плотное отверстие с острой кромкой в матрице. При этом облой остаётся на матрице. Внутренний заусенец, т. е. Перемычка, возникающая при наметке отверстий в поковке при штамповке, удаляется пуансоном прошивного штампа. Обрезка наружного облоя и прошивка внутреннего могут быть выполнены за один ход пресса в комбинированном штампе.

При штамповке на горизонтально-ковочной машине возникает радиальный облой. Его удаляют в обрезном ручье на самой машине. Для зачистки неровностей, среза облоя и мелких торцовых заусенцев применяют наждачные станки.

Штампованные поковки часто нуждаются в правке, так как после обрезки заусенцев может произойти искривление осей и искажение формы.

Правку средних и крупных поковок ведут в горячем состоянии, а мелкие поковки поддаются правке и в холодном состоянии. Операция правки проводится на штамповочных молотах в специальном правочном штампе или окончательном ручье, а также на кривошипных обрезных прессах. В последнем случае устанавливают правочный штамп рядом с обрезным.

Калибровка обеспечивает точные размеры и массу, а также качество поверхности поковки, что позволяет обойтись без дальнейшей механической обработки калиброванных поверхностей. Иногда после калибровки производят шлифование. Применяют холодную (чеканку) и горячую калибровку. Чеканка даёт большую точность размеров и лучшее качество поверхности, но её нельзя применять для поковок больших размеров.

Специальная калибровочная машина - кривошипно-коленный чеканочный пресс, развивающий большое усилие на ползуне при сравнительно малом крутящем моменте на кривошипном валу. Калибровку также ведут и на кривошипных горячештамповочных прессах, молотах и винтовых фрикционных прессах. Конечно, точность калибровки на неспециализированных машинах ниже, и поэтому последние используются в основном для горячей калибровки.

Различают плоскостную, объёмную и комбинированную холодную калибровку.

Плоскостная калибровка гарантирует точность размеров между отдельными параллельными плоскостями поковки и улучшает качество поверхности по этим плоскостям.

Объёмная калибровка предназначена для улучшения качества поверхности всей поковки с одновременным повышением точности размеров. Штамп для объёмной калибровки соответствует конфигурации поковки. Точность объёмной калибровки на 30...40% ниже, чем плоскостной. Объёмную калибровку применяют также для нагретых поковок. При этом значительно уменьшается усилие калибровки, но ухудшаются качество поверхности и точность размеров.

Комбинированная калибровка - это сочетание объёмной и плоскостной калибровок: вначале производят объёмную калибровку, а затем плоскостную.

5.11. Разработка технологического процесса горячей штамповки

Прежде чем приступить к разработке технологического процесса, необходимо установить, каким способом будет изготовлена данная поковка. Во многих случаях этот вопрос ре-

шается без каких-либо расчетов. Если масса и габаритные размеры поковок превышают допустимые для штамповки, то ковка их неизбежна.

При меньшей массе поковок решающим фактором является серийность производства, при чём, если серийность исчисляется тысячами, то может быть применена штамповка, а если несколькими десятками или сотнями, то ковка или ковка с частичной подштамповкой. Дополнительным фактором является конфигурация поковок, сложность которой учитывается при уточнении принятого варианта разработки.

При объёмной штамповке течение металла ограничивается полостью специального инструмента- штампа, который служит для получения поковок только данной конфигурации.

Наличие большого разнообразия форм и размеров поковок, сплавов из которых они штампуются, привело к возникновению разновидностей процессов штамповки.

Характер течения металла в процессе штамповки определяется типом штампа, что является основным для классификации процессов объёмной штамповки. В зависимости от типа штампа выделяют штамповку в открытых штампах и штамповку в закрытых штампах (или безоблойную штамповку). Рассматривая эти разновидности штамповки, нужно особое внимание обратить на их преимущества, недостатки и область рационального применения.

Штамповка в закрытых штампах (безоблойная) наиболее прогрессивна и экономична из-за отсутствия облоя, значительно уменьшается расход металла. Основным недостатком этого способа заключается в необходимости получения заготовки точного объёма.

Кроме различия по типу инструмента-штампа, штамповка различается по виду оборудования, на котором она производится.

Объёмная штамповка осуществляется на паровоздушных молотах, механических и гидравлических прессах, горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) и других машинах. Штамповка на каждой из этих машин имеет свои характерные особенности, преимущества и недостатки.

При значительной высоте и простой конфигурации детали в условиях серийного и массового производства целесообразна объёмная штамповка на прессах (втулки, поршни и др.). При меньшей высоте, малом поперечном сечении детали и сравнительно сложной конфигурации более приемлема объёмная штамповка на молотах (шатунны, коленчатые валы и др.). Поковка типа стержней с головками на конце (клапан), втулки с буртами и без буртов штампуют на ГКМ.

Обоснование выбора способа получения поковки. Горячая штамповка, по сравнению с ковкой, позволяет изготовить поковку, по конфигурации более близкую к готовой детали, с большей точностью при высокой производительности.

Штамповка в открытых штампах - наиболее сложные по форме заготовки. Штамповка в закрытых штампах снижает расход металла на 10...30% за счет отсутствия облоя. В закрытых штампах обычно изготавливают поковки, имеющие форму тел вращения или близкие к ним.

Разновидностью безоблойной штамповки является выдавливание заготовок. Отсутствие облоя и уклонов позволяет, по сравнению с обычной облойной штамповкой, снизить расход металла на 15...30%, уменьшить допуски на 40...50%, а припуски - на 25...30% относительно принимаемых по ГОСТ 7505-74 (для серийного и массового производства поковок I и II класса точности).

Для заготовок кольцевой формы (втулки с различными буртами, ступицы, венцы шестерни, стаканы) применяют безуклонную штамповку. Которая позволяет экономить 10...20% металла по сравнению со штамповкой на молотах.

Штамповка различается по виду оборудования, на котором она производится: штамповка на паровоздушных молотах, механических прессах и горизонтально-ковочных машинах (ГКМ). Штамповка на каждой из этих машин имеет свои характерные особенности, преимущества и недостатки, которые необходимо четко представлять.

В зависимости от вида оборудования:

- а) штамповка на молотах;

- б) штамповка на прессах;
- в) штамповка на ГКМ.

В зависимости от формы штампа и характера течения металла:

- а) облойная штамповка;
- б) безоблойная штамповка;
- в) штамповка выдавливанием;
- г) безуклонная штамповка.

Выбор способа изготовления поковки определяется следующими факторами: если масса и габаритные размеры детали превышают допустимые для штамповки, то неизбежна ковка. При меньшей массе поковок решающим фактором является серийность производства. Дополнительным фактором, уточняющим принятый вариант разработки, является конфигурация детали.

При значительной высоте и простой конфигурации детали в условиях серийного и массового производства целесообразна штамповка на прессах (втулка, поршень). При меньшей высоте, малом поперечном сечении детали и сравнительно сложной конфигурации более приемлема штамповка на молотах (шатун, коленчатый вал). Поковки типа стержней с головками на концах (клапан), втулки с буртами и без буртов обычно штампуют на ГКМ или на прессах методом выдавливания.

Разработка чертежа поковки. Чертеж поковки разрабатывают по чертежу детали в следующем порядке.

1. Выбирают на поковке расположение будущей плоскости разъема штампов.
2. Устанавливают припуски на механическую обработку и допуски на штамповку (табличные данные).
3. Устанавливают штамповочные уклоны и радиусы закруглений и, если имеются в детали отверстия, устанавливают наметки отверстий под прошивку и толщину оставляемых пленок.

Плоскость разъема должна быть выбрана таким образом, чтобы отштампованная поковка свободно вынималась из штампа. Для возможности контроля сдвигов одной части поковки относительно другой необходимо, чтобы контуры верхнего и нижнего штампов в плоскости разъема были одинаковы (например, разъем по середине толщины фланца). Чтобы облегчить заполнение металлом полости штампа, желательно для разъема выбирать такую плоскость, при которой полости штампов имели бы наименьшую глубину.

Припуски выбирают по ГОСТ 7505-70 в зависимости от массы детали, габаритов и материала поковки, класса точности и вида оборудования. Поэтому работу нужно начинать с расчета массы детали, затем по массе и габаритным размерам выбирать припуски по табл. 1 с учетом вида оборудования. Необходимо учесть, что припуск в таблице дан на сторону. Поэтому при определении, например, диаметра поковки к диаметру детали следует приплюсовать удвоенный припуск.

Штамповочные уклоны и закругления, необходимые для облегчения заполнения штампов и удаления отштампованной поковки из полостей штампов, устанавливают в зависимости от соотношения ширины ручья (для круглой поковки ширина ручья равна отношению

При штамповке поковок с отверстиями в наиболее тяжелых условиях работают выступы штампов, называемые знаками. Вследствие малой стойкости штамповых знаков полости диаметром менее 30 мм при горячей штамповке не выполняются. При штамповке поковок большой высоты с отверстием ограничиваются получением лишь глухих наметок без последующей просечки отверстий. Если диаметр отверстий больше или равен высоте поковок, то рациональнее делать одинаковые наметки с двух сторон поковки с образованием пленки (перемычки), которая легко удаляется в просеченном штампе при обрезке облоя.

При разработке технологического процесса получения поковки на горизонтально-ковочной машине (ГКМ) следует учесть, что характерной особенностью штампов ГКМ является наличие двух взаимно перпендикулярных разъемов. При производстве поковок на ГКМ

наиболее часто применяется высадка свободной длины прутка. Для обеспечения симметричной деформации при высадке необходимо, чтобы отношение к свободной длине прутка L к диаметру прутка D : $K=L/D=2.0...2.5$. Для определения возможности однопереходной высадки, согласно приведенному соотношению между длиной и диаметром прутка, можно воспользоваться объемным соотношением

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L,$$

откуда

$$\frac{L}{D} = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^3}.$$

Если отношение L/D превышает указанные пределы величин, то необходимо применять наборные ручки.

Определение массы и размеров заготовки. Массу исходной заготовки, необходимую для получения штампованной поковки, подсчитывают по следующей формуле:

$$G_{заг} = G_{пок} + G_{обл} + G_{уч},$$

где $G_{заг}$ - масса исходной заготовки;

$G_{пок}$ - масса поковки;

$G_{обл}$ - масса облоя (при штамповке в открытом штампе);

$G_{уч}$ - масса отходов металла на угар.

В случае пробивки перемычки в отверстиях необходимо учитывать ее массу $G_{пор}$.

Массу облоя ориентировочно подсчитывают по формуле

$$G_{обл} = (0,5-0,8) \cdot \gamma \cdot F_{обл} \cdot L,$$

где $G_{обл}$ - масса облоя, кг;

γ - плотность металла, $7,80 \text{ г/см}^3 = 0,0078 \text{ кг/см}^3$;

$F_{обл}$ - масса поперечного сечения канавки для облоя;

L - периметр поковки по линии разъема, см^3 .

Ориентировочные площади поперечного сечения канавки для облоя в зависимости от массы поковки можно определять в следующем порядке:

| | | | | | | | | |
|-------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----------|
| $G_{пок}$, кг | до 0,5 | 1,5 | 5 | 12 | 25 | 40 | 100 | свыше 100 |
| см^2 | 1,1 | 1,6 | 2,4 | 3,2 | 4,2 | 5,3 | 11,2 | 19,5 |

Масса отхода металла на угар при нагреве в пламенной печи принимается равной 3% массы поковки с облоем, в электропечах-2%, а при электронагреве-1%.

Масса поковки определяется как произведение суммы отдельных элементарных объемов поковки на ее плотность:

$$G_{пок} = \gamma \cdot V_{пок} = \gamma \cdot (V_1 + V_2 + \dots + V_n),$$

где $V_{пок}$ - объем поковки, см^3 ;

V_1, V_2, \dots - объемы элементарных частей, см^3 .

Примеры расчета объемов:

$$\text{Для цилиндра } V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{4 \cdot 1000} = \frac{0,8 \cdot D^2 \cdot h}{1000}, \text{ см}^3;$$

где D и h - диаметр и высота цилиндра, мм.

$$\text{Для кольца } V = \frac{0,78 \cdot (D^2 - d^2) \cdot h}{1000}, \text{ см}^3;$$

$$\text{Для усеченного конуса } V = \frac{0,262 \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2) \cdot h}{1000}, \text{ см}^3$$

Размер сечения исходной заготовки определяется в зависимости от метода штамповки.

Исходные заготовки для объемной штамповки, как правило, получают отрезкой сортового проката разнообразного профиля: круглого, квадратного, прямоугольного и т. д. В

большинстве случаев для штамповки поковок более или менее сложной конфигурации нужно получить фасонную заготовку, т. е. приблизить ее к форме поковок. С этой целью исходную заготовку обычно предварительно деформируют в заготовительных ручьях многоручьевых штампов, ковочных вальцах или другими методами. При штамповке особенно большое количество одинаковых поковок применяют прокат периодического профиля.

При определении размеров заготовок для поковок типа шестерен с предварительной осадкой следует исходить из условия:

$$L_{заг}/D_{заг} = 2,5$$

Диаметр заготовки для поковок типа шатуна с операцией вытяжки в первом приближении можно принять равным среднему размеру поперечного сечения поковки.

Тогда $L_{заг} = V_{заг} / F_{заг}$.

где $F_{заг}$ - условная площадь заготовки с квадратным сечением, мм².

Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) по сравнению с штамповкой на молотах более производительна, дает возможность получить более точные (с допуском в пределах 0.2...0.5 мм и более) качественные поковки массой до 200 кг. Наличие выталкивающего устройства позволяет осуществить штамповку с малыми штамповочными уклонами (до 1...3°) и наиболее прогрессивную штамповку выдавливанием. Выдавливанием можно изготавливать грибовидные поковки типа стержня с утолщением на конце, а также поковки с глухой и скользящей полостью, крестовины и другие поковки с боковыми отростками.

Разработка чертежа штамповки на КГШП аналогична штамповке на молотах. Отличие необходимо учитывать при назначении уклонов. Массу падающих частей штамповочных молотов ориентировочно подсчитывают по формуле

Массу падающих частей штамповочных молотов ориентировочно подсчитывают по формуле*

$$G = a \cdot F, \text{ кг}$$

где G - масса падающих частей штамповочных молотов, кг;

a - коэффициент, равный 5-6 для молотов двойного действия и 10 - для молотов простого действия;

F - площадь проекций поковки в плане, см².

По массе падающих частей подбирается молот. Усилия штамповки на КГШП ориентировочно подсчитывают по формуле: $P = k \cdot F \cdot 10$,

где P - усилие штамповки, кН;

F - площадь проекции штамповки с облойным мостиком, см²;

k - коэффициент, учитывающий сложность поковки, $k = 6,4...7,3$.

Меньшее значение коэффициента следует брать при расчете усилий штамповки простых по форме поковок, большее - для сложных поковок с острыми углами, тонкими и высокими ребрами, тонким полотном и др. По полученному значению подбирается пресс.

5.12. Холодная объемная штамповка

Холодной объемной штамповкой обрабатывают цветные, легкие и тяжелые металлы, а также стали. Прежде всего этот способ применяют для изготовления массовых изделий небольших размеров: заклепок, гвоздей, болтов, гаек и т. п. Отсутствие нагрева, а следовательно, окалин и тепловых усадок позволяет получать при помощи холодной объемной штамповки точные детали с допусками на размеры порядка сотых и десятых долей миллиметров с чистотой поверхности 6-9-го класса. Исходной заготовкой для холодной объемной штамповки служит калиброванный круглый пруткок диаметром от 0.6 до 38 мм (для метизов) и шайбы, вырубленные из листов.

Основная операция при производстве метизов - высадка с истечением металла перпендикулярно движению инструмента, а оборудованием служат холодновысадочные автоматы производительностью от 30 до 400 деталей в минуту. В зависимости от сложности детали ее изготавливают за один или несколько переходов (ударов автомата). Поскольку пластическая

деформация в этих процессах идет при температурах ниже температуры рекристаллизации, то металл изделия упрочняется тем больше, чем больше степень деформации. Это используют при замене обработки резанием холодной объемной штамповкой. В ряде случаев упрочнение материала при штамповке заменяет термическую обработку (закалку с отпуском), которая применялась после механической обработки детали. Упрочнение металла сопровождается благоприятным расположением макроволокон в изделии. Основные виды холодной объемной штамповки: выдавливание, высадка, объемная формовка и калибровка (чеканка).

Холодное выдавливание - процесс получения штамповок при пластическом течении металла в плоскости штампа. При холодном выдавливании в отличие от пресования заготовкой является не слиток, а штучная прутковая заготовка. При этом получается не протяженный профиль, а чаще всего готовая деталь, требующая незначительной обработки резанием. Пластическое деформирование выдавливанием происходит в условиях неравномерного всестороннего сжатия и обеспечивает высокую степень деформации. Для мягких, пластичных металлов (алюминия) степень деформации, определяемая отношением площадей поперечного сечения заготовки и детали, может быть больше 10 000%. Но выдавливание требует высоких давлений: для алюминия до 0.7 ГПа, для сталей до 3 ГПа. Различают прямое, обратное и комбинированное выдавливание.

При прямом выдавливании металл вытекает через отверстие в неподвижной матрице в направлении движения пуансона. Удаляется деталь с помощью выталкивателя. Таким методом получают детали типа стержней с утолщениями и труб с фланцами (болты, клапаны и т. п.). При обратном выдавливании направление течения металла противоположно движению пуансона. Удаляется деталь с помощью съемника. Таким методом получают полые детали с дном (корпусы труб, стаканы и т. п.). Штамповка деталей методом комбинированного выдавливания сопровождается течением металла в разных направлениях.

Холодная высадка применяется при изготовлении широкого ассортимента деталей в массовом производстве: болтов, гаек, шпилек, винтов, шурупов, заклепок, гвоздей, спиц и др. Исходной заготовкой служат проволока или прутки диаметром 0.5-38 мм. Холодная высадка деталей производится за 1, 2, 3 и более переходов (ударов) в зависимости от формы высаживаемой части и ее размеров. Отношение длины высаживаемой части заготовки к ее диаметру не должно превышать 2.5 при высадке за 1 удар, 8 - при высадке за 3 удара.

Автомат имеет механизмы подачи, отрезки и переноса заготовки с линии подачи на линию высадки, а также механизмы высадки и выталкивания. Пруток или проволока роликами подается через матрицу до упора. Матрица перемещается на линию высадки, отрезая при этом заготовку от прутка. Высадка заклепки осуществляется пуансоном, а удаляется она из матрицы выталкивателем.

Холодную формовку применяют для изготовления сложных по форме деталей с площадью горизонтальной проекции до 5000 мм (2) и высотой до 25 мм. Ее производят в открытых и закрытых штампах. Исходной заготовкой обычно является штучная заготовка из сортового или листового проката, полученная горячей штамповкой либо точным литьем. Иногда (чаще при штамповке в закрытых штампах) заготовкой служит полоса или прутки, но при этом расход материала по сравнению со штучной заготовкой возрастает на 10-30%.

Технологический процесс изготовления деталей холодной формовкой включает обычно следующие операции: резку заготовок, формовку (иногда предварительную и окончательную), обрезку заусенца (при открытой штамповке), калибровку (или зачистку).

При формовке за несколько переходов для повышения пластичности производят промежуточный отжиг. Холодную формовку, как и холодное выдавливание, производят со смазкой.

5.13. Листовая штамповка

Листовой штамповкой получают разнообразные детали из различных сталей и сплавов, находящие широкое применение в авиационной, автомобильной, тракторной промышленно-

сти, производстве товаров широкого потребления и других отраслях народного хозяйства. Основным признаком листовой штамповки - неизменность толщины заготовки в ходе обработки. В качестве заготовки используют лист, ленту, полосу, фасонный профиль и т. д.

Различают толстолистовую и тонколистовую штамповку, причем к тонколистовой относят штамповку заготовок толщиной менее 4 мм. Тонколистовую штамповку, как правило, ведут в холодном состоянии, а при толщине листа более 10 мм применяют только горячую штамповку. Необходимо отметить, что штамповкой получают также изделия из листовых неметаллических материалов. Процесс листовой штамповки отличается высокой производительностью (до 40 000 деталей в смену с одного штампа), легко поддается механизации и автоматизации, обеспечивает высокую точность размеров и хорошее качество поверхности отштампованных деталей. Операции листовой штамповки делят на разделительные и формоизменяющие. К разделительным операциям относятся отрезка, вырубка и пробивка.

Отрезку чаще всего применяют для разделения листа на полосы нужной ширины. Эту операцию производят на ножницах с параллельными и наклонными ножами (гильотинных) и дисковых, конструкции которых описаны выше (см. часть вторую).

Вырубка и пробивка - это процессы отделения части заготовки по замкнутому контуру. При вырубке отделяемая часть является изделием или заготовкой, а при пробивке отделяемая часть - это отход. Пробивкой получают отверстия. Технология обеих операций идентична: пуансон выдавливает отделяемую часть в отверстие матрицы. Рабочие кромки пуансона и матрицы заостряют, а зазор между пуансоном и отверстием матрицы обычно равен 5...10% от толщины заготовки.

К формоизменяющим операциям относятся гибка, вытяжка, обжим, отбортовка, формовка. Гибка изменяет направление оси заготовки. При этом верхние слои заготовки сжимаются, а нижние - растягиваются. Нейтральный слой радиуса r растяжению и сжатию не подвергается. Минимальный радиус изгиба, при котором не возникает разрушение наружных слоев заготовки от растягивающих напряжений, $r_{min} = (0,25-0,30) \cdot S$.

Естественно, что с увеличением пластичности изгибаемого материала можно уменьшать радиус изгиба.

После окончания гибки вследствие упругой деформации (пружинения) изделие несколько распрямляется. Необходимую длину заготовки определяют, считая, что длина изделия по нейтральному слою равна длине заготовки.

Вытяжка - операция, при которой плоская заготовка превращается в полое изделие или полуфабрикат. Заготовка для тел вращения имеет форму диска и изготавливается обычно вырубкой.

Обжим позволяет уменьшить поперечное сечение конца заготовки, заталкиваемой в матрицу. Для предотвращения появления складок на обжатой части заготовки необходимо выдерживать отношение $d_{заг}/d_{изд} = 1,2...1,3$.

Отбортовка операция, при которой из плоского участка заготовки с отверстием путем раздачи отверстия получают горловину.

5.14. Прессование и волочение

Прессование заключается в выдавливании металла из замкнутого объема через отверстие в матрице. Профиль прессованного изделия соответствует сечению отверстия в матрице. Прессование отличается высокой производительностью, точностью и экономичностью. Этим способом получают полые и сплошные сложные профили.

Исходной заготовкой при прессовании служит прокат или слиток. При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию и поэтому металл имеет весьма высокую пластичность. Следовательно, прессованием можно обрабатывать как пластичные цветные металлы и сплавы и малопластичные легированные стали и сплавы.

К недостаткам прессования следует отнести: высокая стоимость и низкая эксплуатационная стойкость пресс-форм и низкий коэффициент использования металла, т. к. после пресс-

сования так называемой пресс-остаток, который после окончания прессования отрезается от полученного профиля.

Различают прямое и обратное прессование. При прямом прессовании направление деформации металла через отверстие матрицы совпадает с направлением движения пуансона, давление которого на заготовку передается через пресс-шайбу.

Часть заготовки, которая остается в пресс-форме 4, называется пресс-остатком.

В случае прессования труб заготовка При обратном прессовании матрица устанавливается в конце полого пуансона и металл деформируется в обратном направлении движения пуансона.

Волочение заключается в протягивании прокатанных или прессованных заготовок через отверстие волока, поперечное сечение которого меньше поперечного сечения заготовок. Инструмент для волочения-волока изготавливают из высоколегированных инструментальных сталей и твердых сплавов.

Степень обжатия допустимая за один проход зависит от обрабатываемого материала и составляет для сталей 10...20%, а для цветных металлов-до 30%. Для получения профилей необходимых размеров производят волочение за несколько переходов через ряд волок постепенно уменьшающихся отверстий. При многократной деформации происходит наклеп металла. Для снятия наклепа производят промежуточный рекристаллизационный отжиг.

Волочением изготавливают разнообразные профили, холоднотянутые трубы диаметром до 500 мм и с толщиной стенки 0,1-10 мм, проволоку диаметром 0,002-10 мм, калиброванные проволоки диаметром 3-150 мм и др. Изделия, изготовленные волочением отличаются высокой точностью, блестящей, гладкой поверхностью.

5.15. Методы повышения эксплуатационной стойкости штампов горячего деформирования

Штампы горячего деформирования работают в условиях циклических температурно-силовых воздействиях, специфика которых зависит от вида технологической операции, конструктивных параметров штампа и оборудования, вида материала, массы, температуры нагрева, типа смазочно-охлаждающих жидкостей, режимов работы и прочих факторов.

Степень влияния этих факторов определяется соотношением механической и тепловой энергии, что является важнейшей задачей при управлении технологическими показателями процесса работы штампа и строится на энергобалансе в рабочей зоне.

Поэтому к материалам штампов предъявляют следующие требования: 1) высокое сопротивление пластической деформации; 2) износостойкость; 3) теплостойкость; 4) достаточно высокую вязкость; 5) разгаростойкость и низкий коэффициент теплового расширения; 6) окалиностойкость; 7) теплопроводность и т. д.

Учитывая условия работы штампов и требования предъявляемых к ним, для их изготовления применяют дорогостоящие стали легированные с вольфрамом, молибденом, хромом и т.п.

Штампы горячего деформирования металлоемкие, сложные и дорогостоящие изделия и поэтому экономно использования их становится одним из важным факторов для повышения эффективности при производстве поковок.

Для повышения эксплуатационной стойкости и надежности штампы подвергают наряду с термической обработкой и поверхностному упрочнению. С этой целью применяют различные методы поверхностного упрочнения: азотирование, карбонитрирование, диффузионное хромирование, борирование и т. п.

Азотирование применяют для повышения твердости и износостойкости рабочих поверхностей штампа. Его выполняют после термической обработки, шлифования и заточки. Твердость азотированного слоя не снижается при нагреве рабочей поверхности до 600 °С, на поверхности уменьшается налипание частиц металла. Стойкость азотированных штампов повышается на 50-60%. Вместе с тем азотирование длительный процесс, продолжительность

составляет от 4 до 28 часов, в зависимости от требуемой глубины диффузионного слоя. Азотирование проводят при 525...580°C.

Карбонитрирование отличается от азотирования тем, что на поверхностные слои штампа диффундирует кроме азота и углерода. При этом по стойкости они почти не отличаются.

Диффузионное хромирование выполняется при температуре 980...1050°C с выдержкой 3-4 часа, толщина хромированного слоя составляет при этом 0,02...0,03 мм. При этом наряду с повышением твердости и износостойкости поверхности резко снижается коэффициент трения между заготовкой и штампом, которое уменьшает усилия штамповки. Повышение стойкости хромированных штампов составляет 2.5-3.0 раза.

Борирование создает очень высокую микротвердость до 21000 МПа. Борирование осуществляют в порошкообразной смеси, пастах или электролизным способом.

Борирование проводят при температурных интервалах 860...950°C с выдержкой 3-8 часов, в зависимости от требуемой толщины слоя. При нагреве борированные слои до 900°C сохраняет микротвердость. Толщина слоя составляет 0,04...0,1 мм. Стойкость борированных штампов повышается в 3-4 раза.

Все эти указанные способы поверхностного упрочнения требуют сложное оборудование, материалы и дополнительные капитальные затраты, что повышает себестоимость штампа. В некоторых случаях почти невозможно произвести упрочнение из-за больших размеров штампов.

Более целесообразным и экономичным является способ упрочнения штампа при эксплуатации, разработанные авторами данного учебника. Упрочнение штампов при эксплуатации является беззатратной.

Сущность способа упрочнения штампа при эксплуатации. Физико-химические превращения, происходящие в поверхностных слоях штампа в условиях циклических температурно-силовых воздействиях, связаны с наличием активных компонентов среды. В таких условиях эксплуатации уменьшается концентрация углерода на контактных поверхностях штампа из-за его диффузии из слоев примыкающих к рабочим поверхностям, в заготовку и в атмосферу. Такие диффузионные явления приводят к снижению твердости поверхностей штампа, следовательно, к его разупрочнению.

При штамповке рабочие полости штампа регулярно охлаждают смазочно-охлаждающими жидкостями.

Такие циклические изменения температуры создают напряжения на разупрочненных поверхностях приводящих к образованию усталостных разгарных трещин.

Добавка в смазочно-охлаждающую жидкость углеродо- и азотсодержащего компонента способствует восполнить дефицит углерода на рабочих поверхностях штампа и дополнительно легируют азотом. За счет нагрева происходит диссоциация смазочно-охлаждающей жидкости с выделением атомарных углерода и азота. При многократных циклах, штамповка-охлаждение происходит карбонитрирование рабочих поверхностей штампов, за счет диффузии углерода и азота на эти поверхности. Диффузионный слой непрерывно изнашивается и вновь образуется. Такие диффузионные процессы при эксплуатации повышает твердость, теплостойкость и износостойкость штампа, без каких либо дополнительных капитальных и трудовых затрат.

Из-за большой трудоемкости проведения известных методов поверхностного упрочнения азотирования, диффузионное хромирование, борирование и т. п., крупных деталей штампов горячего деформирования предлагаемый способ особенно предпочтителен.

Эксплуатационная стойкость штампов при этом повышается на 50...70%.

5.16. Методы повышения эксплуатационной стойкости штампов холодного деформирования

К этой группе относятся штампы, изменяющие форму материала без снятия стружки. Деформирование протекает без значительного нагрева рабочей кромки. Для изготовления

таких штампов применяют инструментальные стали У7, У8, ХВГ, Х6ВФ, 6ХЗФС, Х12Ф1 и т.п.

Общие требования, предъявляемые к этим сталям, повышенное сопротивление пластической деформации, износостойкость и возможно лучшая вязкость.

Вместе с тем для процессов холодного деформирования характерны большие различия в виде напряженного состояния, возникающие в штампе, оно сильно отличается при изменении условий штамповки. Поэтому для штампов в зависимости от их назначения, форм и размеров необходимо выбирать многочисленные и разные по составу стали, преимущественно нетеплостойкие повышенной твердости и вязкости.

Обоснованное применение методов упрочняющей обработки для деталей из указанных групп сталей возможно при условии правильного сочетания первичных или исходных показателей свойств поверхностных слоев, достигаемых при объемной термической обработке и соблюдении необходимых условий эксплуатации. Следовательно, требуемые механические свойства стали приобретаются при объемной термической обработке, а повышение твердости и износостойкости поверхностных слоев обеспечивается различными методами упрочнения. Таким образом, для обеспечения высоких эксплуатационных свойств деталей технологической оснастки, подвергаемых поверхностному упрочнению, большое значение имеет правильный выбор способов термической и поверхностной обработок.

Выбор того или иного способа химико-термической обработки обусловлен не только требованиями, предъявляемые к поверхностному слою, но и температурой, при которой выполняется эта обработка, а также теплостойкостью стали. Для нетеплостойких сталей нельзя применить в качестве финишных методов упрочнения процессы азотирования, карбонитрации и т.п., так как выполняются все эти процессы в температурных интервалах 500...600 °С. При этом значительно снижается твердость сердцевины рабочих деталей. Такой резкий переход твердости между поверхностным и нижележащим слоями приводит к выдавливанию упрочненного слоя из-за малого сопротивления пластической деформации матричных слоев.

Предварительные методы химико-термической обработки таких сталей (цементация, нитроцементация, хромирование и т.п.), которые выполняются при температурах 900...1050 °С, затрудняются из-за деформирования и коробления при окончательной термической обработки. При шлифовании упрочненный слой частично или полностью снимается, что не гарантирует повышения эксплуатационной стойкости сложных штампов.

Для упрочнения таких штампов в основном применяют или предварительные методы упрочнения на большую глубину или же используют дорогостоящие высоколегированные теплостойкие быстрорежущие стали.

Хорошие результаты дает низкотемпературное карбонитрирование нетеплостойких сталей при температуре 250...300 °С с использованием пасты, содержащей углеродо- и азото-содержащие вещества, разработанных авторами этого учебника.

Низкотемпературное карбонитрирование предназначено для вырубных штампов при вырубке тонколистовых материалов. Режущие детали штампа после окончательной термической обработки, шлифования и заточки термический контейнер насыщают азотом, углеродом и серой при 275...300 °С в течение 1,5 часа. На поверхности режущей детали после такой обработки образуется слой толщиной 3-10 мкм из карбонитридов и сульфида железа. Микротвердость карбонитридного слоя достигает 8400 МПа, а сульфид железа играет роль твердой смазки. Эксплуатационная стойкость вырубных штампов при вырубке магнитопроводов, для электродвигателей повышается в 1,5-1,7 раза.

При газовой сварке заготовки нагреваются более плавно, чем при дуговой; это определяет основные области её применения. Поэтому газовая сварка применяется при сварке металлов малой толщины до 3мм, легкоплавких цветных металлов и сплавов, для металлов и сплавов, требующих медленного нагрева и охлаждения- инструментальных сталей, чугуна, латуней, для пайки и наплавочных работ; для подварки дефектов в чугунных и бронзовых отливках.

Газовая сварка широко применяется в полевых условиях и ремонтных работах.

VI. СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

6.1. Физические основы получения сварочных соединений и классификация способов сварки

Сварка - технологический процесс получения неразъемных соединений материалов посредством установления межатомных сил сцепления. Для приведения этих сил в действие необходимо сблизить поверхности свариваемых деталей на расстояние равной параметру кристаллической решетки, в порядке 10^{-5} см. Такое приближение свариваемых изделий можно достигнуть плавлением свариваемых кромок, или пластическим деформированием, или совместным действием того и другого.

Сваркой соединяют однородные и разнородные металлы и их сплавы, металлы с некоторыми неметаллическими материалами, а также пластмассы.

Условия для соединения материалов реализуются различными способами сварки путем энергетического воздействия на материал в зоне сварки. Энергия вводится в виде теплоты, упругопластической деформации, электронного, ионного и других видов воздействия. В результате поверхностные атомы металлов и кристаллических неметаллов образуют общие для соединяемых заготовок кристаллические решетки.

Классификация способов сварки. В зависимости от вида энергии, используемой для образования сварного соединения, все виды сварки классифицируются на термический, термомеханический и механический классы.

К термическому классу относятся виды сварки, осуществляемые плавлением с использованием тепловой энергии. К ней относятся: дуговая, плазменная, электронно-лучевая, газовая, лазерная, электрошлаковая и т.п.

К термомеханическому классу относятся виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления. К ним можно отнести диффузионную сварку и различные виды контактной сварки.

К механическому классу относятся виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления. К ним можно отнести холодную сварку, ультразвуковую сварку, сварку взрывом, сварку трением и т.п.

Конструкционные материалы разделяют на хорошо, удовлетворительно и плохо сваривающиеся.

Свариваемость - свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Свариваемость в основном зависит от химического состава материала. Свариваемость оценивают степенью соответствия заданных свойств сварного соединения одноименным свойствам основного металла и их склонностью к образованию сварочных дефектов, таких как трещины, поры, шлаковые включения и др.

При сварке однородных металлов и сплавов в сварном шве образуется структура, близкая к структуре соединяемых заготовок, что означает хорошую свариваемость таких материалов в зависимости от различия их свойств в сварном шве образуется твердый раствор с решеткой, резко отличающийся от решеток исходных материалов. Механические и физические свойства сварного соединения могут значительно отличаться от свойств соединяемых материалов. Такие материалы относятся к удовлетворительно сваривающимся. В случае в сварном соединении образуются хрупкие соединения в сварном шве возникают напряжения. Если значения этих напряжений больше прочности сварного соединения, возможно возникновение трещин в шве и в околошовной зоне. Такие материалы относятся к категории плохо сваривающихся.

С увеличением содержания углерода в стали и степени легирования ухудшается свариваемость сталей.

6.2. Дуговая сварка, классификация способов дуговой сварки

Электрическая дуга представляет собой установившийся разряд тока в газовой среде. Для преодоления током большего сопротивления воздуха в дуговом промежутке необходимо ионизация среды. В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие способы дуговой сварки: сварка неплавящимся, графитовым и вольфрамовым электродом 1 дугой прямого действия 2 (рисунок 6.1.а),

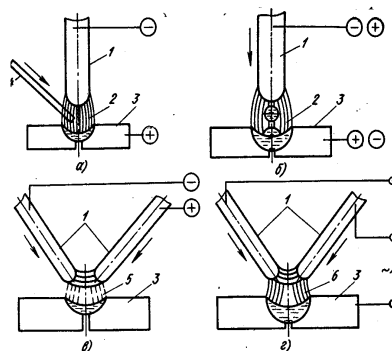


Рис. 5.1. Схемы дуговой сварки

Рисунок 6.1. Схемы дуговой сварки

при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла 3 либо с применением присадочного металла 4; сварка плавящимся (металлическим) электродом 1 дугой прямого действия 2 (рисунок 6.1.б) с одновременным расплавлением основного металла 3 и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом; сварка косвенной дугой 5 (рисунок 6.1.в), горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами 1; при этом основной металл 3 нагревается и расплавляется теплотой столба дуги; сварка трехфазной дугой 6 (рисунок 6.1.г), при которой дуга горит между электродами 1, а также между каждым электродом и основным металлом 3. Питание дуги осуществляется постоянным или переменным током. При применении постоянного тока различают сварку на прямой и обратной полярностях. В первом случае электрод подключают к отрицательному полюсу, во втором - к положительному. Питание дуги осуществляется переменным и постоянным током.

При прямой полярности, когда анод присоединен к изделию, а катод к электроду, кратер образуется в свариваемом изделии.

Сварка малых трещин металла во избежание прожига ведется на обратной полярности.

Для питания дуги током требуются специальные генераторы постоянного тока или сварочные трансформаторы переменного тока.

6.3. Ручная дуговая сварка

Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые вручную подают в дугу и перемещают вдоль заготовки. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом приведен на рисунке 6.2.

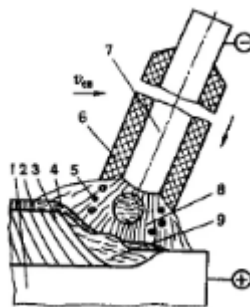


Рисунок 6.2. Схема процесса ручной сварки

Дуга 8 горит между стержнем электрода 7 и основным металлом 1. Стержень электрода плавится и расплавленный металл каплями стекает в «металлическую ванну» 9. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 6, образуя газовую защитную атмосферу 5 вокруг дуги и шлаковую ванну 4 на поверхности расплавленного металла.Metalлическая и шлаковая ванны вместе образуют сварочную ванну. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварочный шов. Шлак после остывания образует твердую шлаковую корку 2.

Ручная сварка удобна при выполнении коротких и криволинейных швов в любых пространственных положениях: нижнем, горизонтальном, потолочном и вертикальном, при положении швов в труднодоступных местах, а также при монтажных работах и сборки конструкций сложной формы. Ручная сварка обладает низкой производительностью и поэтому ее применяют в ремонтных, монтажных работах, в строительстве и в малосерийном производстве

Электроды для ручной дуговой сварки Проволока для изготовления электродов должна соответствовать определенному химическому составу в зависимости от марки свариваемого металла.

Наибольшее применение имеет углеродистая проволока, которая употребляется для газовой и автоматической сварки, а также для изготовления электродов для ручной сварки.

Проволока выпускается различных диаметров, от 1 до 12 мм. Марки ее обозначаются через буквы Св, что означает сварочные, а далее следуют цифровые обозначения, указывающие процентное содержание главной примеси, и последующие буквы, обозначающие наименование компонента. Содержание углерода не имеет буквенного обозначения. Углерод указывается в сотых долях процента.

Для сварки малоуглеродистой и конструкционной сталей применяется проволока марок Св-08, Св-08А, Св-08Г, Св-15 и др. Так, например, проволока 3Св-08А означает диаметр проволоки 3 мм и содержание углерода 0,08 % (на это указывает буква А). Буква Г показывает наличие в проволоке марганца не более 1 %. Химический состав этой проволоки в %: 0,08 С; 0,8-1,1 Mn; 0,03 Si; 0,15 Cr; 0,3 Ni; 0,04 S и 0,04 P.

Для изготовления электродов проволока в зависимости от ее диаметра нарубается в виде стержней различной длины. Нормальные электроды диаметром от 1 до 2 мм имеют длину 250 мм; от 2 до 3 - 350мм; от 3 до 5 - 400мм; от 5 до 10 - 450мм.

Эти длины могут изменяться в зависимости от местных условий. Поступает проволока в виде мотков весом от 20 кг и более. Для нержавеющей стали электроды чаще изготавливаются короче нормальных на ≈ 100 мм.

В зависимости от назначения электродов последние покрывают обмазкой (покрытием).

Покрытия электродов подразделяются на две группы: Стабилизирующие (ионизирующие) и качественные.

Стабилизирующие электроды - с тонкой обмазкой. Назначение этих электродов - своим составом ионизировать дуговой промежуток и тем самым улучшать стабилизацию дуги при сварке на переменном токе. Они почти не влияют на качество наплавленного металла, хотя последний до некоторой степени защищен от кислорода и азота воздуха газами сгорающей

обмазки. Называются эти электроды тонкообмазанными, потому что слой обмазки у них не превышает 0,3 мм на сторону.

В качестве ионизаторов применяются окислы или соли кальция, калия, натрия, бария и др. Наибольшее распространение для этой группы получили электроды с меловой обмазкой, состоящей из 75-80 % мела и 20-25 % жидкого стекла по весу.

При сварке малых толщин листовой стали стремятся применять тонкообмазанные электроды.

Покрытие наносится на стержень путем окунания его в жидкий водный раствор обмазки. Последующая сушка на воздухе при комнатной температуре закрепляет обмазку на стержне.

Качественные электроды - с толстым слоем обмазки.

Эти электроды предназначены повышать качество шва, производя металлургическую обработку расплавленного металла.

В процессе горения дуги металл электрода и расплавленной массы претерпевает ряд изменений, вызванных высокой температурой дуги и газовой средой в приэлектродных участках. Это приводит к окислению шва, угару отдельных компонентов и в целом к ухудшению механических свойств.

К составу качественных покрытий (обмазок) предъявляется ряд требований:

Они должны содержать компоненты, обеспечивающие хорошую стабилизацию дуги. В качестве таких компонентов чаще всего применяют вещества, содержащие различные соединения калия, натрия, бария, кальция и др.

Они должны содержать элементы-раскислители, т.е. они должны восстанавливать образовавшиеся окислы. В качестве раскислителей применяются активные элементы или различные соединения титана, кремния, алюминия и марганца.

Они должны содержать легирующие элементы, т.е. должны восполнять угар элементов или даже, при необходимости, изменять химический состав шва против основного или электродного металла. Например, при сварке легированных сталей возможно применять углеродистую проволоку с обмазкой, содержащей легирующие элементы. Для этой цели преимущественно применяются ферросплавы.

Они должны содержать шлакообразующие элементы, т.е. при расплавлении должен образоваться шлак, закрывающий толстым слоем наплавленный металл. Это означает, что шлак произвел обработку металла шва и всплыл на поверхность, тормозя охлаждение шва. Обычно для этой цели применяются также ферросплавы.

Качественные электроды имеют слой обмазки толщиной 0,7-1,2 мм.

6.4. Режимы дуговой сварки

На качество шва существенное влияние оказывает длина сварочной дуги. Чем короче дуга, тем выше качество наплавленного металла. Длина дуги определяется в зависимости от диаметра электрода по формуле:

$$l = \frac{d + 2}{2}, \text{ мм}$$

где d - диаметр электрода, мм.

Диаметр электрода для ручной сварки выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла и ориентировочно может быть определен по формуле:

$$d = \frac{S}{2} + 1,$$

где d - диаметр электрода, мм (не более 12 мм);

S - толщина свариваемого металла, мм.

Для обеспечения провара при выполнении сварочного соединения необходимо выбрать определенный токовый режим, что означает правильный выбор тока и скорости при короткой дуге.

Длина дуги оказывает влияние на напряжение на дуге, которое должно соответствовать $V_p = a + b \cdot l$,

где a - коэффициент, характеризующий падение напряжения на электродах, он зависит от материала электрода: для открытой дуги $a = 12 \dots 18b$ при стальных электродах и $a = 35 \dots 38b$ при угольных электродах;

b - коэффициент, характеризующий падение напряжения на 1 мм длины дуги, для условий воздушной среды $b = 2,0 \dots 2,5 \cdot \epsilon$;

l - длина дуги в мм.

На рабочее напряжение также оказывает влияние качества электродного материала (покрытие).

Сварочный ток существенно влияет не только на величину провара, но и на общее формирование шва. Наиболее благоприятной формой шва считается такая, при которой ширина шва при сварке получается равной $(3 \dots 4)d$ (d - диаметр электрода в мм).

В зависимости от толщины металла сварочный ток при одном и том же диаметре электрода изменяется в некоторых пределах.

Для определения сварочного тока применяют формулу:

$$I = B \cdot d,$$

где I - ток, А;

B - плотность тока в амперах на 1 мм диаметра электрода. Обычно $B = 35 \dots 50$ А/мм;

d - диаметр электрода.

Производительность ручной дуговой сварки определяется качеством электродов и токовым режимом.

Полное время T_d , затрачиваемое на сварку того или иного изделия, зависит, в первую очередь, от основного времени горения дуги и различных затрат времени на подготовку, вспомогательные и организационные операции, которые в целом определяются коэффициентом. Таким образом общее время сварки

$$T_d = \frac{t_0}{\varphi},$$

где t_0 - основное время горения дуги, ч;

φ - коэффициент использования сварочного поста, равный $0,4 \dots 0,8$.

Основное время горения дуги определяется количеством наплавленного металла Q_n , расходуемого на все изделия или в одном метре шва. Количество наплавленного металла в одном метре шва находится расчетным путем.

Зная толщину сварочного металла и сечение шва, легко определить массу наплавленного металла по формуле:

$$Q_n = L \cdot F \cdot \gamma,$$

где Q_n - масса наплавленного металла, г;

L - длина шва, см;

F - поперечное сечение шва, см;

γ - плотность наплавленного металла, г/см.

Для 1 метра шва это выражение принимает вид

$$Q_n = 100 \cdot F \cdot \gamma,$$

Скорость сварки определяют исходя из основного времени горения дуги t_0 :

$$v_{св} = \frac{L}{t_0},$$

где $v_{св}$ - линейная скорость сварки, м/ч;

L - длина шва, м;

t_0 - время горения дуги, ч.

Основное время горения дуги t_0 определяется по формуле:

$$t_0 = \frac{Q_n}{J \cdot K_n}, \text{ ч.}$$

где J - сварочный ток, А;

K_n - коэффициент наплавки.

K_n характеризует технологическое качество применяемых электродов и выбирается в зависимости от марки электродов. Для ручной сварки стали $K_n = 5 \dots 13 \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч})$.

Коэффициент наплавки характеризует количество наплавленного металла, расплавляемое 1А в течение одного часа, т.е.

$$K_n = \frac{Q_n}{J \cdot t_0}$$

В связи с наличием разбрызгивания при дуговой сварке учитывается также коэффициент расплавления K_p , который определяется по формуле:

$$K_p = \frac{Q_p}{J \cdot t_0}, \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч})$$

где Q_p - количество расплавленного металла, г.

K_p не должен значительно превышать K_n , так как это будет указывать на нерационально выбранные токовые режимы сварки.

Чем больше разница в K_p и K_n , тем больше потери металла на разбрызгивание. Поэтому производительность сварки рассчитывают исходя из Q_n , а не из Q_p .

Оптимальное соотношение коэффициентов $K_p = (1,2 \dots 1,3) K_n$.

Коэффициент потерь определяется по формуле:

$$K_n = \frac{Q_p - Q_n}{Q_p} \cdot 100\%$$

Расход электродов Q_e рассчитывают, исходя из потерь на угар, разбрызгивания и огарки. Огарки электродов определяются конструкцией электрододержателя и составляют до 15 % от массы электрода, а суммарные потери электродного материала доходят до 25-30 % от этой массы.

Расход электроэнергии определяют чаще всего на 1 кг наплавленного металла, а при серийной работе на 1 метре шва.

В зависимости от рода тока расход электроэнергии в среднем составляет: при ручной сварке на постоянном токе 7-8 кВт.ч/кг; на переменном токе 3,5...4,5 кВт.ч/кг.

6.5. Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка

При увеличении плотности сварочного тока при открытой дуге усиливается разбрызгивание металла, что способствует при большем расходе электродов не увеличивается производительность сварки.

В 30-е годы в институте сварки (г. Киев) под руководством Е.О. Патона разработан способ сварки под флюсом с полной автоматизацией процесса сварки.

Сущность сварки под флюсом состоит в том, что слой флюса, находящийся над жидкой ванной, **увеличивает** давление газов дуги на ванну и не позволяет металлу разбрызгиваться, что позволяет применение больших сварочных токов.

При сварки под флюсом (рисунок 6.3.) дуга 10 образуется между свариваемым металлом 8 и проволокой (электрод) 3. Жидкая ванна 9 плотно закрыта слоем флюса 5 толщиной 30-50 мм. Нижний слой флюса расплавляется, в результате чего вокруг дуги образуется газовая полость, на поверхности расплавленного металла - шлаковая ванна 4. Под действием мощной дуги плавления основного металла на большую глубину оттеснения расплавленного металла в сторону противоположную направлению сварки. По мере удаления электрода затвердевает металлической и шлаковой ванн с образованием сварочного шва 7, покрытого

шлаковой коркой 6. Проволоку подают в дугу и перемещают ее вдоль шва с помощью механизма подачи 2 и перемещения, а ток подается через токопровод 1.

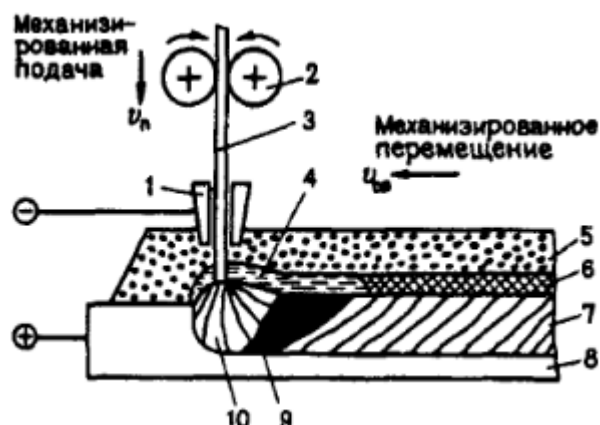


Рисунок 6.3-Схема автоматической сварки под флюсом

К преимуществам автоматической сварки под флюсом по сравнению с ручной сваркой относятся:

- 1) высокая производительность, в 15-20 раз, за счет использования больших сварочных токов и непрерывности процесса;
- 2) высокие механические свойства сварных швов обеспечивается за счет медленного охлаждения сварного шва флюсом и интенсивного раскисления расплавленного металла;
- 3) низкая себестоимость сварки;
- 4) экологическая чистота технологического процесса.

Из-за дороговизны сварочных автоматов (тракторов) автоматическая сварка под флюсом в серийном и массовом производстве в котлостроении, для изготовления цистерн, корпусов судов, мостовых балок и других изделий.

При полуавтоматической дуговой сварке под флюсом проволока к свариваемому изделию подается автоматически, а дуга перемещается вручную. Этот способ применяется для сварки стыковых, угловых и тавровых соединений при получении коротких, прерывистых и криволинейных швов, которые технологически невозможно выполнить автоматическим способом.

6.6. Электрошлаковая сварка

При электрошлаковой сварке основной и электродный металлы расплавляются теплотой, выделяющейся при прохождении электрического тока через шлаковую ванну. Процесс электрошлаковой сварки (рисунок 6.4) начинается с образования шлаковой ванны 3 в пространстве между кромками основного металла 6 и формирующими устройствами (ползунами) 7, охлаждаемыми водой, подаваемой по трубам 1, путем расплавления флюса электрической дугой, возбуждаемой между сварочной проволокой 4 и вводной планкой 9. После накопления определенного количества жидкого шлака дуга шунтируется шлаком и гаснет, а подача проволоки и подвод тока продолжают. При прохождении тока через расплавленный шлак, являющийся электропроводящим электролитом, в нем выделяется теплота, достаточная для поддержания высокой температуры шлака (до 2000 °С) и расплавления кромок основного металла и электродной проволоки. Проволока вводится в зазор и подается в шлаковую ванну с помощью мундштука 5. Проволока служит для подвода тока и пополнения сварочной ванны 2 расплавленным металлом. Как правило, электрошлаковую сварку выполняют при вертикальном положении свариваемых заготовок. По мере заполнения зазора между

ними мунштук для подачи проволоки и формирующие ползуны передвигаются в вертикальном направлении, оставляя после себя затвердевший сварной шов 8.

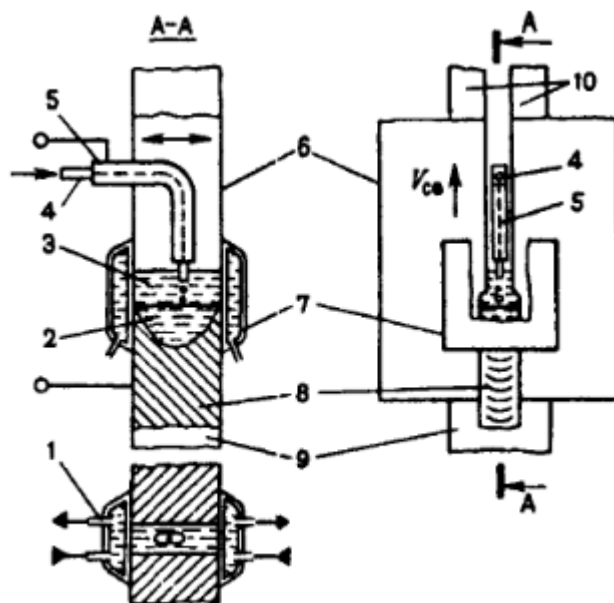


Рисунок 6.4-Схема процесса электрошлаковой сварки

В начальном и конечном участках шва образуются дефекты. В начале шва - непровар кромок, в конце шва - усадочная раковина и неметаллические включения. Поэтому сварку начинают на вводной 9, а заканчивают на выходной 10 планках, которые затем удаляют газовой резкой.

Шлаковая ванна - более распределенный источник теплоты, чем электрическая дуга. Основной металл расплавляется одновременно по всему периметру шлаковой ванны, что позволяет вести сварку металла большой толщины за один проход.

Заготовки толщиной до 150 мм можно сваривать одним электродом, совершающим поперечные колебания в зазоре для обеспечения равномерного разогрева шлаковой ванны по всей толщине. Металл толщиной более 150 мм сваривают тремя проволоками, а иногда и большим числом проволок исходя из использования одного электрода на 45-60 мм толщины металла. Специальные автоматы обеспечивают подачу электродных проволок и их поперечное перемещение в зазоре.

Автоматы перемещаются непосредственно по свариваемому изделию (безрельсовые) или по рельсовой колонне, устанавливаемой параллельно свариваемым кромкам. Скорость движения регулируется автоматически в зависимости от скорости заполнения зазора расплавленным металлом. Для сварки используют проволоку диаметром 2-3 мм. Сварочный ток составляет 750-1000 А. В качестве источников питания применяют специальные трансформаторы для электрошлаковой сварки с жесткой внешней характеристикой.

Электрошлаковая сварка имеет ряд преимуществ по сравнению с автоматической сваркой под флюсом: повышенную производительность, лучшую макроструктуру шва и меньшие затраты на выполнение 1 м сварного шва. Повышение производительности обусловлено непрерывностью процесса сварки, выполнением шва за один проход при любой толщине металла и увеличением сварочного тока в 1,5-2 раза. Макроструктура шва улучшается в результате отсутствия многослойности и получения более однородного по строению однопроходного шва. Затраты снижаются вследствие повышения производительности, упрощения подготовки кромок заготовок, уменьшения сечения шва, а также расхода проволоки, флюса и электроэнергии.

К недостаткам электрошлаковой сварки следует отнести образование крупного зерна в шве и околошовной зоне вследствие замедленного нагрева и охлаждения. После сварки

необходима термическая обработка (отжиг и нормализация) для измельчения зерна в металле сварного соединения.

6.7. Плазменная сварка

Плазмой называют ионизированный газ, представляющий собой поток из нейтральных атомов и молекул, ионов и электронов. Плазму в плазменных горелках называют плазмотронами. В качестве плазмообразующей применяют азот, аргон, водород, гелий, воздух и их смеси. В зависимости от вида технологического процесса и обрабатываемого материала выбирают требуемый газ.

Для получения плазменной дуги соосно столбу дуги, горящей между катодом и анодом, в узком канале вода охлаждаемого медного сопла 3 плазмотрона (рисунок 6.4.) пропускают поток газа. При увеличении тока столб дуги в ограниченном стенками канала сопле плазмотрона расширяться не может, поэтому за счет его сжатия, а также сжатия газовым потоком температура столба дуги и степень ионизации газа повышаются до 30000 °С. При этом почти весь газ, проходящий сквозь столб сжатой дуги, ионизируется и превращается в плазму.

Различают плазменную дугу прямого и косвенного действия. Дуга прямого действия горит между вольфрамовым электродом и изделием. Температура такой дуги достигает 20000-30000 °С. Дуга косвенного действия образуется между вольфрамовым электродом и медным соплом плазмотрона.

Давлением потока газа ионизированный газовый поток выдувается из сопла горелки в виде яркого концентрированного пламени 4. Температура пламени достигает 15000 °С.

Плазменная дуга, обладающая большей тепловой мощностью применяется для сварки высокотемпературных, тугоплавких металлов и сплавов, а также для резки цветных металлов.

Плазменная сварка обладает рядом преимуществ:

- 1) плазменная дуга стабильная, что обеспечивает качество сварных швов;
- 2) имеет высокую температуру, что позволяет сваривать металл толщиной до 10 мм без разделки кромок и присадочного материала. Дуга с концентрированным источником теплоты позволяет сваривать тугоплавкие металлы и сплавы;
- 3) увеличивая ток и расход газа, можно увеличить тепловую мощность дуги. Это позволяет применять плазменную дугу для резки металлов с проплавлением.

К недостатку можно отнести недолговечность плазмотрона вследствие частого выхода из строя сопел и электродов.

6.8. Электронно-лучевая сварка.

Электронный луч состоит из сфокусированных пучков электронов, перемещающихся с большой скоростью от катода к аноду в сильном электрическом поле. При соударении такого потока с изделием, более 99 % кинетической энергии электронов переходит в тепловую, расходуемую на нагрев изделия. Температура в малом объеме достигает 6000 °С.

При электронно-лучевой сварке электроны эмитируются с нагретого в вакууме катода электронной пушки, которые формируются в пучок электродом, расположенным непосредственно за катодом и анодом, составляющий 20-150 кВ и выше, затем с помощью оптической системы формируется в виде луча и направляется отклоняющей магнитной системой на изделие. На формирующий электрод подается отрицательный или нулевой по отношению к катоду потенциал. Фокусировкой достигается высокая удельная мощность до $5 \cdot 10^5$ кВт/м².

При перемещении изделия под неподвижным лучом образуется сварной шов. В современных установках для сварки, сверления, резки или фрезерования электронный луч фиксируется на малой площади (0,1-20 мм²), что позволяет получить большую удельную мощность.

При использовании дуговой или газовой сварки металл нагревают и плавят за счет распространения теплоты от поверхности в глубину, при этом форма зоны расплавления в сече-

нии приближается к контуру; а при сварке электронным лучом теплота выделяется непосредственно в самом металле, причем наиболее интенсивно на некоторой глубине под его поверхностью. Отношение глубины прокаливания к ширине может достигать 20:1, такое проплавление называется кинесальным.

Используя электронную пушку можно не только сваривать и сверлить такие материалы, как стекло, рубин, сапфир, алмаз и др. Кинесальная форма распределения теплоты позволяет уменьшить напряжения в свариваемом шве, что также уменьшает деформацию заготовок. Благодаря вакууму в камере обеспечивается зеркальная поверхность соединения и дегазация расплавленного металла.

Электронно-лучевой сваркой сваривают металлы и сплавы в однородных и разнородных сочетаниях, со значительной разностью толщин, температур плавления. Минимальная толщина свариваемых заготовок составляет 0,02 мм, максимальная 100 мм. Электронным лучом можно сваривать тугоплавкие металлы и сплавы.

Электронно-лучевая сварка в основном применяется для сварки малогабаритных изделий, применяемых в электронике и приборостроении.

6.9. Лазерная сварка

При сварке лазерным лучом источником тепловой энергии служит мощный сконцентрированный световой луч, получаемый в специальных установках, называемых лазерами. В настоящее время основное применение имеют рубиновые лазеры с искусственным рубином, содержащим оксид алюминия (Al_2O_3) и небольшую добавку оксида хрома (Cr_2O_3). Такой лазер состоит из цилиндрического рубинового стержня, ксеноновой лампы, линзы и охлаждающей системы. Торцы стержня отполированы и посеребрены. Один, служащий для выхода наружу светового луча, частично прозрачен. При вспышке ксеноновой лампы, питаемой разрядным током конденсаторов, атомы хрома рубинового кристалла переходят из нормального в возбужденное состояние. Однако через несколько миллисекунд они снова возвращаются в исходное состояние, беспорядочно излучая фотоны красного света. Поток их вдоль оси стержня вызывает излучение новых фотонов, которые попеременно отражаются от зеркальных торцовых граней, увеличивая этим интенсивность общего излучения. При накоплении определенного уровня фотонов они в виде потока красного света прорываются через полупрозрачный торец стержня наружу. Пройдя через линзу, сфокусированный пучок попадает на изделие. Продолжительность импульса излучения лазерного луча равна тысячным и миллионным долям секунды.

Отдельными точками лазерным лучом можно сваривать различные металлы толщиной до 0,5 мм. Его применяют также для получения отверстий в твердых сплавах, тугоплавких металлах, алмазах, рубинах и др.

6.10. Газовая сварка

Пригодность того или иного горючего газа для сварки металлов определяется термическим коэффициентом полезного действия получаемого пламени. Этот коэффициент зависит от качества применяемых газов и рассчитывается применительно к каждому свариваемому металлу по уравнению:

$$n = \frac{T_n - T_m}{T_n},$$

где n - термический КПД;

T_n - температура пламени (в смеси с кислородом), в градусах;

T_m - температура плавления свариваемого металла, в градусах.

Для использования в сварочной технике газов применительно к стали $n = 0,20...0,50$. В таблице 1 дается краткая характеристика различных газов, применяемых для сварки и резки металлов.

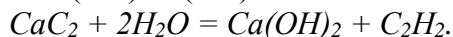
Краткая характеристика различных газов применяемых для сварки.

| Наименование | Химический состав (формула) | Температура нормального пламени °С | Удельный вес при 0°С в кг/м ³ | Запах |
|----------------|---|------------------------------------|--|---------------|
| Ацетилен | C ₂ H ₂ | 3200 | 1,17 | Сильный |
| Бензин (пары) | C _n H _{2n+2} | 2400 | 0,7-0,76 | Специфичный |
| Водород | H ₂ | 2100 | 0,09 | Без запаха |
| Нефтегаз | 28% C _n H _m 50% CH ₄ C ₃ H ₈ 12% H ₂ 10% примеси | 2300 | 0,78-1,36 | Специфичный |
| Пропан - бутан | C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀ | 2050 | 186 | Специфичный |
| Природный газ | 94% CH ₄ 6% примеси | 1850 | 0,73 | Запах чеснока |
| Светильный газ | 35-58% H ₄ 13-25% CH ₄ 3-10% CO 2-6% C _n H _m 1-5% примеси | 2200 | 0,4-0,55 | |

Наибольшее распространение имеет ацетилен.

Ацетилен получается в специальных генераторах путем разложения карбида кальция водой.

Реакция разложения карбида кальция CaC₂ протекает по уравнению с образованием ацетилена C₂H₂ и гашеной извести (ила) Ca(OH)₂:



Размер зерен карбида кальция оказывает влияние на скорость разложения карбида: чем мельче размер зерна, тем больше скорость получения ацетилена. Это обстоятельство следует учитывать в связи с экзотермичностью реакции. Нельзя допускать значительного перегрева ацетилена, и с этой целью применяют охлаждение газа. Расход охлаждающей воды составляет до 16 литров на килограмм CaC₂. Ацетилен взрывоопасен при температуре +457 °С, а также при давлении 1,5 атм. Мелкий карбид кальция требует большого расхода охлаждающей воды. Теоретически 1 кг CaC₂, согласно уравнению, должен выдать 340 л ацетилена. Однако в связи с загрязненностью торгового карбида кальция выход ацетилена значительно меньше и практически считается равным 250...270 л.

Для образования пламени при сварочных работах применяют чистый кислород. По своим физическим свойствам кислород является газом без цвета, запаха и вкуса. Удельный вес кислорода при 15°С и давлении 760 мм. рт. ст. равен 1,35.

Существует несколько способов получения кислорода. Однако промышленное производство в настоящий момент основано на получении кислорода из воздуха методом глубокого охлаждения. Этот способ является, по сравнению с другими методами (электролиз воды и т.д.), наиболее экономичным.

Транспортируется газообразный кислород в стальных баллонах при давлении 150 атм. При больших расходах кислорода его перевозят в жидком состоянии в специальных танках.

Один литр жидкого кислорода дает 800 л газообразного.

Доставляемый потребителю жидкий кислород выливают в специальные газификаторы, где он испаряется и в виде газа по трубопроводу подается к сварочным местам.

Чистота кислорода оказывает существенное влияние на процесс сварки и особенно резки. Чистота кислорода ниже 95% не допускается. Для сварки и резки металлов применяют кислород чистоты 97,5 - 99,5%.

Газовые баллоны служат для транспортирования газов со станции получения до потребителя.

Баллон для сжатого газа состоит из стального сосуда с толщиной стенок 8 мм. Водяная емкость баллонов различна и составляет от 27 до 50 л.

Наибольшее распространение получили газовые баллоны водяной емкостью до 40 л. Наружный диаметр 214...220 мм, высота 1390 мм.

Корпус баллона для сжатого газа изготавливается из цельнотянутых труб, имеет выпуклое дно и в верхней части заканчивается сферической уплотненной горловиной. В горловину ввертывается вентиль для наполнения и выпуска газа из баллона.

Для устойчивости баллона в нижней его части приварен башмак, что позволяет держать баллон в вертикальном положении.

Газовая емкость баллона $V_{газ}$ для кислорода или другого сжатого газа грубо определяется так:

$$V_{газ} = V_{вод} P,$$

где $V_{газ}$ - газовый объем баллона (при температуре 20 °С);

P - давление газа в атм.

Таким образом в полном баллоне содержится $40 \times 150 = 6000$ л, или 6 м^3 кислорода. По ГОСТ 949-75 выпускаются баллоны нескольких типов. Наибольшее распространение получили типы А, Б и В, которые различаются по конструкции вентиля и по давлению.

В зависимости от транспортируемого газа баллоны окрашивают в различные цвета с надписью наименования газа.

Для кислорода (тип А) - в голубой цвет с надписью черным.

Для сжатых газов - заменителей ацетилен (тип А) - в красный с надписью белым.

Для водорода (тип А) - в темно-зеленый с надписью красным.

Для аргона (тип А) - верхняя половина в белый цвет, нижняя - в черный цвет (или весь в кремовый цвет).

Для углекислоты (тип А) - в черный цвет с надписью желтым.

Для азота (тип А) - в черный цвет с красной полосой и надписью желтым.

Для ацетилен (тип В) - в белый цвет с надписью красным.

Для сжиженных пропана и нефтяного газа (тип Б) - в красный цвет с надписью белым.

Все баллоны типа А нагнетаются газом до 150 ат.

Ацетиленовый баллон при одинаковых размерах конструктивно отличается от кислородного или других газов тем, что он заполнен пористой массой и имеет вентиль другой конструкции. Эти баллоны (тип Б) нагнетаются газом при давлении до 18 атм. Баллоны для сжиженных газов (пропан, нефтяной газ и др.) изготавливаются сваркой и рассчитаны на различные давления, от 7 до 125 ат, в зависимости от рода газа.

Газовый объем $V_{газ}$ в 1 л ацетиленового баллона определяется так:

$$V_{газ} = V_{вод} P k \gamma,$$

где $V_{вод}$ - водяной объем баллона (равен 40 л);

P - давление газа (в полном баллоне 16-18 атм);

k - коэффициент наполнения баллона ацетоном (0,4);

γ - растворимость ацетилен в ацетоне (при комнатной температуре равна 23 л). Тогда в полном баллоне при комнатной температуре содержится ацетилен

$$V = 40 \times (16 \div 18) \times 0,4 \times 23 = 5888 \div 6624 \text{ л} \approx 6 \text{ м}^3.$$

Инжекторные горелки называются также горелками низкого давления. Принцип действия этих горелок (рисунок 1) основан на инъекции горючего газа кислородом. Кислород (при давлении 3 атм в старых конструкциях горелок и 1...4 атм в новых конструкциях) засасывает ацетилен или другой горючий газ, подаваемый при давлении от 0,01 до 0,3 атм.

Образовавшаяся в смесительной камере смесь по трубке поступает на выход из горелки, и там при поджигании образуется пламя.

Этот принцип работы горелок является самым распространенным.

Конструктивно горелка состоит из двух главных частей: ствола и сменных наконечников. Горелки, выпускаемые в России, позволяют сваривать металл толщиной 0,2...30 мм.

При смене наконечника изменяется мощность горелки, выраженная в расходе ацетилена в час (л/час).

Каждому номеру наконечника соответствует определенная мощность W , позволяющая сваривать металл в некотором диапазоне толщин металла.

Режимы газовой сварки. К каждой горелки прилагается комплект наконечников, позволяющих производить сварку различных толщин металла. Выбор номера наконечника (по мощности) осуществляется в зависимости от толщины свариваемых деталей и рода металла. Практика показала, что успешно можно выбирать наконечник с производительностью (по ацетилену), определяемой так:

$$W = (100...150) \cdot s,$$

где W - мощность горелки, т.е. производительность по расходу ацетилена, в л/час.

S - толщина свариваемой стали, мм; т.е. для малых толщин $W = 100 \cdot s$, для больших толщин (более 10 мм) $W = 150 \cdot s$.

При сварке массивных чугунных изделий больших толщин или сварке цветных металлов мощность горелки выбирается по формуле $W = (150...200) \cdot s$, л/час.

Выбор присадочного материала и флюса. При газовой сварке металла рекомендуется принимать химический состав присадочного металла таким же, как у свариваемого металла. Для сварки разного рода литья кроме (стального) применяют прутки - палочки различного сечения, полученные путем отливки. Для сварки стали или проката из цветного металла в качестве присадочного металла применяют проволоку различных диаметров.

Марка сварочной проволоки обозначаются через буквы Св, например Св-08, Св-15 и т.д. с последующим указанием легирующих элементов.

Выбор диаметра проволоки производится в зависимости от толщины свариваемого изделия - детали, а именно:

$$\text{при } s > 10 \text{ мм} \quad d = s;$$

$$\text{при } s < 10 \text{ мм} \quad d = \frac{s}{2} + 1,$$

где d - диаметр проволоки, мм; не более 12 мм, независимо от s ;

s - толщина металла, мм.

Для очистки свариваемых кромок, восстановления окислов и перевода их в шлак применяют флюсы различного состава и сложности.

Особенно необходимы флюсы при сварке цветных металлов. Состав этих флюсов указан ниже.

Для сварки малоуглеродистых сталей редко применяют флюсы. По мере увеличения углерода (доле 0,25%) в сталях свариваемость их ухудшается. В этом случае применение флюса состава 50% буры ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) и 50% борной кислоты (H_3BO_3) или 100% буры облегчает процесс сварки, так как улучшает смачиваемость металла.

Сварочная проволока должна плавиться без значительного разбрызгивания.

Производительность газовой сварки. Режимы газовой сварки различных металлов определяются толщиной металла и мощностью выбранной горелки. При сварке листов больших толщин укладка шва может быть многослойной, что окажет влияние на общее затрачиваемое время.

Скорость газовой сварки ориентировочно может быть определена по формуле

$$v_{св} = \frac{B_2}{S}, \text{ м/час,}$$

где S - толщина свариваемых деталей, мм;

B_2 - коэффициент, учитывающий способ и материал сварки, для малоуглеродистой стали $B_2 = 14$ для левой сварки, $B_2 = 18$ для правой сварки.

Общее время, затрачиваемое на сварку, определяется формулой:

$$T_{\text{газ}} = \frac{t_{\text{газ}}}{\alpha}, \text{ м/час,}$$

где $t_{\text{газ}}$ - основное время, затрачиваемое на плавление металла, час.;

α - коэффициент использования сварочного поста, учитывающий вспомогательное время, затрачиваемое сварщиком на выполнение сварки.

Коэффициент

$$\alpha = \frac{t_{\text{газ}}}{T_{\text{газ}}}.$$

Он характеризует полноту использования сварочного поста в зависимости от организации работ в цехе. По данным практики, $\alpha = 0,3 : 0,7$, причем более низкие значения получаются при производстве ремонтных работ или работ, выполняемых в полевых условиях. Основное время $t_{\text{газ}}$ определяется по формуле

$$T_{\text{газ}} = \frac{Q_n}{\beta} = \frac{Q_n}{W}, \text{ час,}$$

где Q_n - количество наплавленного металла, в г;

β - коэффициент В.Г.Наумана, учитывающий удельный расход ацетилен по количеству, равному мощности горелки, т.е. $\beta \approx W$.

Количество наплавленного металла, в г, легко подсчитать, зная объем наплавляемого металла:

$$V_n = F \cdot L;$$

$$Q_n = V_n \cdot \gamma,$$

где V_n - объем наплавляемого металла, см²;

F - поперечное сечение шва, см² (легко определить, зная толщину свариваемого металла и форму шва);

γ - удельный вес наплавленного металла; для стали принимается равным 7,8 г/см³.

6.11. Электрическая контактная сварка и её разновидности

Электрическая контактная сварка относится к термохимическому классу сварки, то есть нагрев свариваемых участков изделий и с помощью давления формируется сварное соединение. Характерная особенность электрической контактной сварки является пластическая деформация нагретых кромок свариваемых изделий.

Электрическая контактная сварка делится на: а) стыковой, б) точечной, в) шовной сварки.

Стыковая сварка. Схема стыковой сварки приведена на рисунке 6.5, а физический контакт свариваемых изделий на рисунке 6.10. Стыковую сварку с разогревом стыка до пластического состояния и последующей осадкой называют сваркой сопротивления, а при разогреве торцов, заготовок до оправления и последующей осадкой - сваркой оправления.

Место соединения разогревается проходящим по металлу электрическим током, в котором максимальное количество теплоты выделяется в месте сварочного контакта.

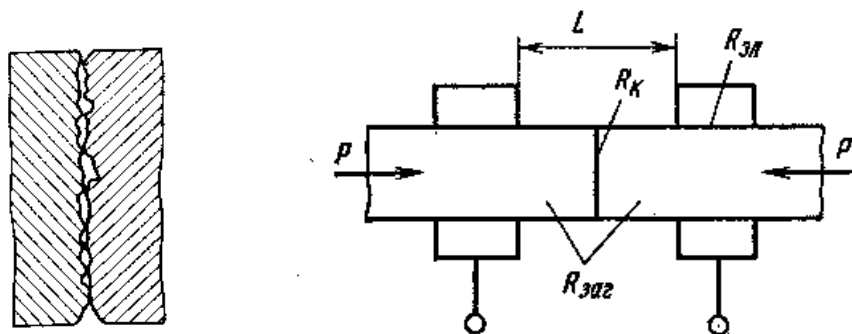


Рисунок 6.5. Схема стыковой контактной сварки

Электросопротивление R_K имеет наибольшее значение, так как из-за неровностей поверхности стыка даже после тщательной обработки заготовки соприкасаются только в отдельных точках. В связи с этим действительное сечение металла, через который проходит ток уменьшается. В таких условиях в точках контакта металл нагревается до термопластического состояния или до оплавления. При сжатии нагретых заготовок образуются новые точки соприкосновения, пока не произойдёт полное сближение до межзатомных расстояний.

Этим способом соединяют изделия малого сечения, так как при больших сечениях (более 100мм²) нагрев будет неравномерным.

Стыковая сварка оплавлением имеет две разновидности: непрерывным и прерывистым оплавлением. При сварке прерывистым оплавлением детали зажатые в машине при включенном напряжении холостого хода вторичной цепи, приводят в кратковременное соприкосновение и опять разводят на небольшие расстояния. Чередую одно за другим замыкание с размыканием, осуществляют равномерное оплавление всего сечения стыка. При осадке наружу стыка выдавливаются расплавленный металл и оксиды, и образуется сварное соединение.

Сварку непрерывным оплавлением выполняют на машинах с непрерывной подачей деталей только в сторону их сближения. Зажатые детали включаются под напряжение вторичной цепи, а затем их сближают до соприкосновения. Когда вся поверхность свариваемых торцов оплавится и покроется слоем жидкого металла, к изделиям прикладывают усилия усадки с одновременным включением тока.

Сварку оплавлением применяют при сварке изделий большого сечения – магистральных газо- и нефтепроводов, железнодорожных рельсов и т.д.

Точечная сварка. Точечную сварку применяют для соединения проволоки и листовых материалов, в которых обеспечивает необходимую прочность, а герметичность соединения не является обязательным. Заготовки накладывают в нахлестку и зажимают усилием P между медными электродами, к которым через электродержателя проводится ток от сварочного трансформатора.

Нижний электрод устанавливают неподвижно, а верхний вместе с электродержателем перемещается с помощью механизма сжатия, который создаёт между электродами необходимое давление. Зажатые электродами поверхности свариваемых заготовок нагреваются медленнее их внутренних слоёв. нагрев продолжают до пластического состояния внешних слоёв и до расплавления внутренних слоёв.

Затем выключают ток и снимают давление, в результате в точке соприкосновения образуется литая сварная точка и поэтому этот способ сварки называется точечным.

Этим способом сваривают углеродистые, легированные, высоколегированные стали и цветные металлы и сплавы.

К разновидности точечной сварки можно отнести – одностороннюю точечную, двухточечную, много точечную и рельефная точечная сварка. При односторонней сварке электроды располагают с одной стороны свариваемых изделий, а с другой прикладывают медные или бронзовые шины. При сварке ток проходит через электроды, свариваемые изделия и медные шины.

Шовная сварка. Шовную сварку (роликовую) применяют для получения прочных и герметичных соединений при изготовлении тонкостенных до 3 мм труб, тонкостенных сосудов, предназначенных для хранения или транспортирования жидкостей, газов и других продуктов.

При шовной сварке листовые заготовки соединяют в нахлестку, зажимают электродами и пропускают сварочный ток. При включении тока и одновременном вращении роликов происходит перемещение и нагрев до расплавления контактных поверхностей свариваемых изделий, которые действием сжимающих усилий свариваются.

В зависимости от способа подачи тока различают непрерывную и прерывистую шовную сварку. Непрерывную шовную сварку применяют для сварки коротких швов и металлов не склонных к росту зерна и не претерпевающих значительных структурных превращений при нагреве около шовной зоны, т. к. при этом снижается прочность металла в около шовной зоне.

К таким материалам относятся низкоуглеродистые, низколегированные и нержавеющие стали.

Прерывистым швом сваривают длинные швы на заготовках из высоколегированных сталей и алюминиевых сплавов. Прерывистый шов обеспечивает стабильность процесса и высокое качество сварного соединения при малой зоне термического влияния.

6.12. Сварка трением

Взаимное перемещение металлических поверхностей способствует кинетическая энергия, совершаемая силами трения при скольжении превращается в теплоту, что приводит к интенсивному нагреву трущихся поверхностей. Трение поверхностей осуществляется вращением или возвратно - поступательным перемещением сжатых заготовок.

В результате нагрева и сжатия, разрушается окисная плёнка с поверхностей, и удаляются за счёт пластической деформации в радиальных направлениях. За счёт совместной пластической деформации свариваемых поверхностей возникают металлические связи между частицами контактирующими поверхностями свариваемых заготовок.

Параметрами сварки трением являются: скорость относительного перемещения свариваемых поверхностей, продолжительность нагрева, удельное усилие и пластическая деформация. Скорость непрерывно свариваемых поверхностей зависит от скорости вращения и усилия сжатия. В конце процесса прекращает движение и прилагается усиленное давление. Режимы сварки зависят от площади сечения, профиля изделия и свойства свариваемого металла. Сваркой трением соединяют однородные и разнородные металлы и сплавы с различными свойствами, например, конструкционные стали с быстрорежущими, медь со сталью, алюминий с титаном и т. п.

6.13. Ультразвуковая сварка

Ультразвуковая сварка основана на использовании магнитострикционного эффекта, при котором происходит изменение размеров некоторых материалов под действием переменного магнитного поля. Эффектом магнитострикции обладают никель железоникелевые сплавы (пермендюр), железоалюминиевые сплавы (альфер), ферриты. Эти изменения размеров магнитострикционных материалов незначительны, поэтому для увеличения амплитуды и концентрации энергии колебаний и для передачи механических колебаний к месту сварки используют волноводы.

На рисунке 6.6 приведена схема ультразвуковой сварки. Свариваемые заготовки 5 размещают на опоре 6, а наконечник 4 рабочего инструмента 3, изготовленный из твёрдого сплава или из инструментальной стали, соединён с магнитострикционным преобразователем 1 через волновод 2. Нормальная сжимающая сила P создаётся элементом M в узле колебаний.

В результате ультразвуковых колебаний в тонких слоях контактирующих поверхностей создаются сдвиговые деформации, разрушающие окисные поверхностные плёнки.

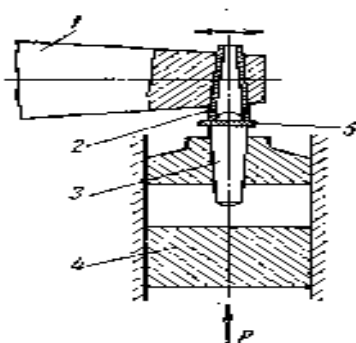


Рисунок 6.6 Схема ультразвуковой сварки

Под воздействием ультразвуковых колебаний поверхностные слои свариваемых изделий нагреваются, размягчаются и пластически деформируются. При сближении поверхностей свариваемых изделий на расстояние действия межатомных сил между ними возникает прочная металлическая связь. Сравнительно небольшое тепловое воздействие на свариваемые материалы обеспечивает минимальное изменение их структуры, механических и других свойств. Прочность сварного шва значительно больше, чем прочность исходной заготовки из – за упрочнения наклёпом. Температура нагрева в зоне контакта не превышает 750°C для стали, 600°C для меди, а при сварке алюминия 300°C .

Ультразвуковой сваркой можно получать точечные и шовные соединения в нахлестку, а также соединения по замкнутому контуру. При сварке по замкнутому контуру в волновод 1 вставляют инструмент в виде конического штифта, имеющего форму трубки (Рисунок 6.18). При равномерном поджатии заготовок 5 между верхним 2 и нижним 3 штифтами получают герметичное соединение по всему контуру. Ультразвуковой сваркой можно сваривать заготовки толщиной от 0,001 мм до 1 мм, а также приваривать тонкие листы и фольгу к массивным заготовкам. Этим способом можно сваривать металлы в однородных и разнородных сочетаниях, например, алюминий с медью, медь со сталью и т.д. При сварке изделий из пластмасс к заготовкам подводятся поперечные ультразвуковые колебания. Ультразвуковая сварка применяется в приборостроении, радиоэлектронике, авиационной промышленности и других отраслях.

6.14. Сварка взрывом

Сварку взрывом можно отнести к механической группе, хотя при кратковременном нагреве изделия на воздухе на отдельных участках наблюдаются оплавления, а на других участках температура невысокая.

Соединяемые поверхности двух заготовок и, в частности пластин, одна из которых неподвижна и служит основанием, располагают под углом α друг к другу на расстоянии h_0 . На заготовку укладывают взрывчатое вещество толщиной H , а со стороны, находящейся над вершиной угла, устанавливают детонатор. Сваривают на жесткой опоре. Давление, возникающее при взрыве, сообщает импульс расположенной под зарядом пластине. Детонация взрывчатого вещества с выделением газов и теплоты происходит с большей скоростью.

В месте соударения пластины с основанием образуется угол γ , который перемещается вдоль соединяемых поверхностей. При соударении из вершины угла выдуваются тонкие окисные поверхностные слои и другие загрязнения. Соударение пластин вызывает кумулятивную струю в их поверхностных слоях, при этом поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил взаимодействия, что образуется металлическая связь по всей площади соединения. Время сварки не превышает нескольких микросекунд. Сварные соединения не образуют промежуточных соединений между разнородными металлами, т.к. для протекания диффузионных процессов время не достаточно.

Прочность соединений, выполненных сваркой взрывом, выше прочности свариваемых металлов, т. к. Тонкие слои металла, прилегающих к соединенным поверхностям наклепываются.

Сварку взрывом используют при изготовлении заготовок проката биметалла, планирование поверхностей конструкционных сталей металлами и сплавами с особо физическими и химическими свойствами, при сварке заготовок разнородных материалов.

6.15. Диффузионная сварка

При поджатии нагретых заготовок в вакууме без отсутствия кислорода происходит взаимной диффузии атомов в поверхностных слоях контактирующих материалов. Используя этот принцип разработан способ диффузионной сварки в вакууме или же в среде инертных защитных газов.

Свариваемые заготовки 3 (рисунок 6.7.) устанавливают внутри охлаждаемой металлической камеры 2, в которой создается вакуум, вателя или индуктора токами высокой частоты 4. В случае сварки тугоплавких металлов для нагрева заготовок применяют электронный луч.

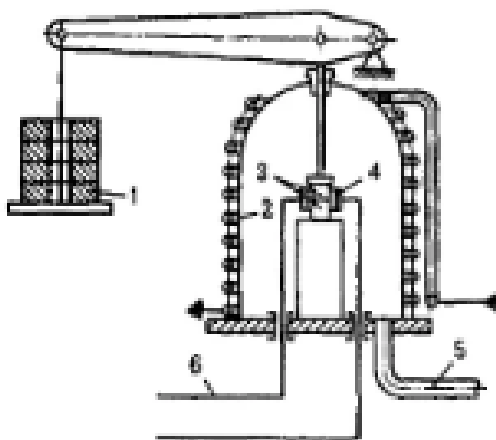


Рисунок 6.7 Диффузионная сварка в вакууме

Температура нагрева заготовок несколько выше температуры рекристаллизации более легкоплавкого материала. При достижении требуемой температуры к заготовкам прикладывают с помощью механического 1 устройства небольшое сжимающее давление (до 20 МПа) в течение 5-20 мин. При выдержке контактирующие поверхности притерпивают незначительные пластические деформации, которые увеличивает площадь контакта между предварительно очищенными поверхностями заготовок. Время нагрева определяется родом свариваемого материала, размерами и конфигурациями заготовок. При нагреве в вакууме тончайшие адсорбированные и масляные пленки испаряются и не препятствуют образованию соединения. Преимуществом диффузионной сварки в вакууме является наличие припоев, флюсов и электродов. Металлы и сплавы можно соединять в однородных и разнородных сочетаниях. После сварки не требуется механической обработки для удаления шлака или окалины. Диффузионную сварку применяют в космической технике и радиоэлектронике, в самолетостроении, в приборостроении, в пищевой промышленности и других отраслях. Этот способ используют для сварки деталей и узлов вакуумных приборов, высокотемпературных нагревателей и т. д.

6.16. Наплавка металлов

Наплавка - процесс, при котором на поверхность детали наносится слой металла определенного состава. Наплавку применяют в следующих случаях: а) при ремонте изношенных деталей для восстановления их исходных размеров и б) с целью повышения износостойкости деталей работающих на износ, путем наплавки на их поверхности более износостойких спла-

вов. Для наплавочных работ создано большое количество различных сплавов, в виде порошков и электродов.

6.17. Восстановление изношенных деталей наплавкой

Во многих случаях, когда затруднительно, невозможно или слишком дорого применять сварку под флюсом, вместо флюса используют другие защитные газы: аргон или углекислый газ. Широкое применение нашел углекислый газ из-за его дешевизны.

Этот способ наплавки, также, как и при сварки под флюсом, применяется на ремонтных предприятиях. Углекислый газ подается в зону сварки с помощью специальных горелок, монтируемых на обычных автоматических и полуавтоматических сварочных головках. Преимущества этого способа: видимость места сварки, отсутствие шлаковой корки, дешевизна углекислого газа по сравнению с флюсом и возможность наложения неудобных и сложной конфигурации швов вплоть до потолочных.

Недостаток наплавки в среде защитных газов - повышенная податливость наплавленно-го слоя к образованию трещин, а также к выгоранию легирующих элементов. Этому способствует разложение углекислого газа при высоких температурах на окись углерода и атомарный кислород по реакции $2CO_2 \rightarrow 2CO + O_2$. Это вредное явление можно предупредить применением электродной проволоки с повышенным содержанием марганца и кремния и других раскислителей.

Плазменно-дуговая наплавка. Установка для получения плазменной струи состоит из источника питания током, балластных реостатов, дросселя, осциллятора, плазменной головки, пульта управления и контроля, системы циркуляции воды.

Вместо порошка можно применять сварочную проволоку, которую подают в плазменную струю таким же механизмом, как при автоматической наплавке.

Кроме указанных способов наплавки применяют вибродуговую наплавку, наплавку токами высокой частоты и т.п.

6.18. Повышение износостойкости деталей, работающих на износ наплавкой

Многочисленные детали, в основном, инструменты работают в условиях повышенного износа, при высоких температурах и давлениях. Одним из перспективных методов повышения износостойкости таких дорогостоящих инструментов являются наплавки на рабочих поверхностях инструмента из более твердых металлов и сплавов. К ним относятся сормайт, сталинит стелит В2К, твердые сплавы и т.п.

для наплавки твердых сплавов с целью повышения износостойкости инструмента применяют те же способы, которые используют при восстановлении изношенных деталей наплавкой. Наплавка токами высокой частоты (ТВЧ) среди этих способов широко распространена для этих целей, т.к. легко изготовить индуктор любой конфигурации.

Нагрев поверхности детали, находящейся в переменном магнитном поле, имеет существенные преимущества перед другими видами нагрева. Индукционный ток по сечению детали распределяется неравномерно. Его плотность достигает наибольшего значения у поверхности и резко падает при переходе в глубь детали. Это обстоятельство позволяет концентрировать тепло в тех точках поверхности, в которых необходимо осуществить высокотемпературный нагрев металла.

Особенность индукционной наплавки заключается в том, что вместо металлического электрода используется специальная шихта, состоящая из металлического порошка, наплавляемого твердого сплава и флюсов. Шихта наносится на наплавляемую поверхность определенной толщины наплавляется деталь в индукторе высокочастотной нагревательной установки.

Для получения высокого качества наплавки необходимо, чтобы температура плавления шихты была на 150-200⁰С ниже температуры плавления основного металла, а компоненты металлического порошка имели бы небольшую разность температур плавления и хорошо

растворялись. Иначе металлургический процесс не успевает завершиться. Наилучшие результаты получаются при введении в состав шихты порошка готового сплава. Но магнитная проницаемость его должна быть минимальной, так как под действием магнитного поля индуктора при определенных частотах (ниже 100000 гц) возможно осыпание шихты с наплавляемой поверхности.

Свойства и состав флюсов необходимо подобрать таким образом, чтобы наплавляемый металл раскислялся за несколько секунд, а жидкий шлак предохранял его от воздействия атмосферы окружающей среды. Тепло к поверхности изделия должно поступать гораздо быстрее, чем вглубь его.

При прохождении тока высокой частоты (более 70000 гц) через контур индуктора в поверхностных слоях основного металла возникают индукционные токи, которые быстро нагревают его наружный слой. Зато шихта из-за высокого омического сопротивления нагревается слабо. Расплавляется она главным образом за счет тепла нагреваемой поверхности основного металла.

VII. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН РЕЗАНИЕМ.

7.1. Типы токарных резцов

Многообразие видов поверхностей, обрабатываемых на станках товарной группы привело к созданию большого числа токарных резцов. Они классифицируются следующим образом.

По технологическому назначению резцы делятся на проходные для обтачивания наружных цилиндрических и конических поверхностей, подрезные для обработки плоских торцовых поверхностей, расточные для растачивания сквозных отверстий для глухих отверстий, отрезные для резания заготовок, резьбовые для нарезания наружных и внутренних резьб, фасонные круглые и призматические для обтачивания фасонных поверхностей, прорезные для обтачивания кольцевых канавок, галтельные для обтачивания переходных поверхностей между ступенями валов по радиусу и др.

По характеру обработки различают резцы черновые, получистовые, чистовые лопаточные.

По форме рабочей части резцы делят на прямые, отогнутые, оттянутые и изогнутые для резания заготовок больших диаметров.

По направлению подачи резцы подразделяются на правые и левые. Правые работают с подачей справа на лево, левые - слева на право.

По способу изготовления различают резцы целые, приваренной встык рабочей частью, с приваренной или припаянной пластиной инструментального материала, со сменными пластинами.

По роду материала резцы бывают из быстрорежущей стали, с пластинами из твёрдого сплава, с пластинами из металлокерамики, с кристаллами алмаза, эльборовые фрезы.

Для высокопроизводительного течения с большими подачами используют резцы с дополнительными режущими лезвиями.

В промышленности широко применяют с многогранными неперетачиваемыми пластинами.

7.2 Тепловые явления при резании

Нарост. При образовании сливной стружки часто наблюдается задерживание обрабатываемого материала на передней поверхности резца. Это наслоение имеет в сечении криволинейную треугольную форму, причем тонкие слои металла как бы наложены друг на друга и вытянуты вдоль. Заторможенный слой (нарост) вследствие ильного разогрева приваривается к передней поверхности резца и изменяет ее геометрию. Образование и срыв нароста ухудшает чистоту обработанной поверхности и приводит к выкрашиванию режущей кромки резца. Борьба с наростом велась путем улучшения чистоты передней поверхности резца, увели-

чения переднего угла, применения СОЖ - смазывающе-охлаждающей жидкости. Наиболее радиальным средством является увеличение скорости резания обычных конструкционных сталей с 10...40 м/мин, при которых интенсивно образуется нарост, до 80...100 м/мин. Увеличение скорости резания до 80...100 м/мин сопровождается повышением температуры в зоне резания и ведет к исчезновению нароста.

Наклеп (упрочнение). Деформация металла в процессе резания не ограничивается зоной, примыкающей к передней поверхности инструмента, а распространяется на впереди- и нижележащие слои (объемы), увеличивая их твердость. Это явление носит название наклепа (упрочнения) при резании. Наличие упругих и пластических деформаций в зоне резания приводит к: 1) искажению кристаллической решетки и возникновению остаточных напряжений; 2) измельчению зерен металла и появлению преимущественной ориентировки зерен (текстуры). Этим на сегодняшний день и объясняют явление наклепа, т.е. повышение твердости обработанной в процессе резания поверхности.

Источники тепловыделения при резании. Тепловые явления в процессе резания играют очень важную роль. Именно они отделяют температуру в зоне резания, которая оказывает прямое влияние на характер образования стружки, наростообразование, усадку стружки, величину сил резания и микроструктуру поверхностных (обработанных) слоев. Выделение тепла при резании происходит за счет превращения механической работы, затрачиваемой на процесс резания, в тепловую. Практически в теплоту переходит вся работа резания - 99.5%. Эта работа затрачивается при резании на упругую и пластическую деформацию, перемещения по плоскостям сдвига и скалывания, трение стружки о переднюю поверхность режущего инструмента, трение задней поверхности инструмента о заготовку и можно выразить формулой:

$$Q_{\theta} = Q_{n.n.} + Q_{доф} + Q_{з.н.}$$

где $Q_{доф}$ - теплота, образующаяся в результате упруго-пластических деформаций;
 $Q_{n.n.}$ и $Q_{з.н.}$ - теплота, образующаяся от трения стружки о переднюю и заднюю поверхности инструмента по заготовке.

Выделяемое при этом тепло поглощается стружкой, деталью и инструментом. часть тепла уходит в окружающую среду. Существенную роль при этом играют теплопроводность инструмента и обрабатываемого материала. Чем ниже теплопроводность детали, тем больше тепла уходит в инструмент.

Тепловой баланс процесса резания можно представить следующим тождеством:

$$Q_{\theta} = Q_p$$

$$Q_{n.n.} + Q_{деф} + Q_{з.н.} = Q_{ст} + Q_{ин} + Q_{ср} + Q_{заг}$$

где $Q_{ст}$ - количество теплоты, отводимой стружкой;
 $Q_{ин}$ - количество теплоты, отводимой инструментом;
 $Q_{ср}$ - количество теплоты, отводимой в окружающую среду;
 $Q_{заг}$ - количество теплоты, отводимой заготовкой.

Количественные значения членов уравнения изменяются в зависимости от режима резания, физико-механических свойств обрабатываемого материала, материала инструмента и т.д. Тепло, переходящая во время резания в инструмент, нагревает его, что приводит к разупрочнению.

Из теплового баланса можно сделать вывод о том, что при интенсивном охлаждении режущей кромки инструмента при резании и повышении теплопроводности материала ин-

струмента и заготовки повышается производительность обработки. Однако даже интенсивное охлаждение с СОЖ-ю не позволяет снизить температуру в зоне резания.

Увеличение скорости резания приводит к значительному нагреву стружки, детали, инструмента, вплоть до температур плавления. Это вызывает уменьшение усилий резания, улучшает чистоту обработанной поверхности, но резко снижает стойкость инструмента.

В этой связи применение СОХ - смазывающе-охлаждающих жидкостей резко снижает нагрев инструмента и детали, усилия резания и повышает качество обрабатываемой поверхности. Роль СОЖ в процессе резания обусловлена тремя физико-химическими действиями: 1) смазывающим действием и уменьшением деформации поверхностных слоев детали; 2) охлаждающим; 3) смывающим. Смазывающее действие жидкости заключается тем, что трущиеся поверхности детали, инструмента, стружки покрываясь тонкими пленками, препятствуют непосредственному контакту этих поверхностей и снижают силы трения. С этой целью в воду или эмульсии добавляют органические кислоты: оминовые, стеариновые, их смеси, а также соединения серы, хлора и другие. Охлаждающее действие СОЖ заключается в поглощении тепла в зоне резания, охлаждения стружки, детали и инструмента.

Смазывающее действие жидкости сводится к механическому удалению мелкой стружки и предотвращению прилипания ее к поверхности станка, инструмента и детали. Из сказанного ясно, какое большое значение приобретает стойкость (теплостойкость) режущего инструмента, изготовленного из надежных инструментальных материалов.

7.3. Материалы для режущего инструмента

Чтобы срезать слой с заготовки, необходимо внедрить в металл режущий инструмент. Это можно сделать при условии, если твердость инструмента будет больше твердости обрабатываемого металла. В процессе резания режущая кромка инструмента подвергается большим давлениям, трению и нагреву, что приводит к износу режущего инструмента, а иногда и к водному его разрушению. Поэтому основными требованиями, предъявляемыми к материалам для изготовления режущего инструмента, являются:

- 1) достаточная твердость, прочность и вязкость,
- 2) износостойкость при высокой температуре нагрева и в течение продолжительного времени;
- 3) теплостойкость, под которой понимается температура нагрева, до которой режущий инструмент сохраняет свою рабочую твердость.

Основными инструментальными материалами являются: углеродистые; низколегированные стали, содержащие в сумме до 5 % легирующих элементов; быстрорежущие стали, металлокерамические и минералокерамические твердые сплавы, синтетические сверхтвердые материалы.

Углеродистые и низколегированные стали. Углеродистые инструментальные стали марок У7 - У13 содержат 0,7...1,3% углерода и имеют твердость в пределах HRC 60-63. Так как эти стали имеют низкую теплостойкость (200...250°C), их применение ограничено. Из углеродистых сталей изготавливают инструменты, работающие со скоростями резания, не превышающими 18 м/мин метчики, плашки, ручные развертки, напильники, шаберы, ножовочные полотна и др.

Низколегированные инструментальные стали марок 9Ц0, 9ХФ, ХА, ХВГ, ХВСГ и др. обладают более высокими режущими свойствами, менее склонны к деформациям и появлению трещин при закалке. Они обладают высокой твердостью - HRC 62-64. Но в связи с тем, что теплостойкость их обычно не превышает 300 °С, изготовленные из них инструменты можно использовать лишь для работы при умеренных скоростях резания (15-25 м/мин.) Из низколегированных сталей изготавливают те же виды инструмента, что и из углеродистых сталей но большего диаметра и длины.

Все быстрорежущие стали маркируются с буквы Р (от слова «рапид» - что означает - скорость). Цифра, стоящая за Р, указывает на содержание главного легирующего элемента -

вольфрама в целых процентах; за буквой М указано содержание молибдена, за Ф - ванадия, за К - кобальта.

Быстрорежущие стали являются одним из основных инструментальных материалов для изготовления режущих инструментов, особенно имеющих фасонные или большой протяженности режущие кромки (метчики, долбяки, фрезы, протяжки и т.п.) Универсальные инструменты - сверла, зенкеры, развертки, концевые и дисковые фрезы и пилы, широко применяемые в производстве, в основном изготавливаются из этих сталей и могут работать со скоростями; резания в 3-4 раза большими, чем инструменты из нетеплостойких сталей. Кроме того, инструменты из быстрорежущих сталей могут быть заточены с максимально возможной остротой режущей кромки, что очень важно для чистовых операций, обладают высокой стабильностью режущих свойств и надежностью в работе, что имеет большое значение при использовании их на автоматическом оборудовании с многоинструментальными наладками.

Металлокерамические твердые сплавы. Режущую часть высокопроизводительных режущих инструментов оснащают металлокерамическими твердыми сплавами. Их высокая твердость, износостойкость, теплостойкость, достигающая 900-1000 °С, позволяют производить твердосплавными инструментами высокопроизводительную обработку различных металлических и неметаллических материалов. По своей режущей способности инструменты, оснащенные твердыми сплавами, намного превосходят инструменты из быстрорежущих сталей и допускают обработку со скоростями резания, достигающими 600 м/мин.

Для получения металлокерамических сплавов используют порошки твердых и тугоплавких карбидов вольфрама (WC), титана (TiC), тантала (TaC), смешанных в различных пропорциях с порошком, который служит связкой. Из полученной смеси прессуют пластинки, спекают при 1500...1900 °С, затем припаивают к корпусам инструментов либо закрепляют на них механическим способом.

Выпускаемые в России твердые сплавы подразделяются на три группы:

ВК - вольфрамовые (однокарбидные), состоящие из карбида WC и кобальта: ВК8, ВК10, ВК20 и др. Цифра, стоящая за буквой К указывает на процентное содержание кобальта, остальное - карбид вольфрама.

ТВК - титановольфрамокобальтовые (двухкарбидные), состоящие из карбидов TiC, WC, сцементированных кобальтом: Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т30К4 и др.

ТТК - титанотанталовольфрамовые (трехкарбидные), состоящие из карбидов WC, TiC, TaC и кобальта: ТТ7К12, ТТ7К15.

Цифра, стоящая за буквой Т, указывает на процентное содержание карбида титана; за буквами ТТ - на суммарное содержание карбидов титана и тантала; за К - кобальта, остальное - карбид вольфрама. С повышением содержания кобальта в сплаве прочность и вязкость его повышаются, а твердость и износостойкость снижаются.

Сплавы группы ВК рекомендуется применять для обработки чугунов, цветных сплавов, пластмасс; сплавы ТВК - для черновой и чистовой обработки конструкционных сталей; ТТК - для черновой обработки сталей в особо тяжелых условиях резания: отливки с литейным пригаром; штамповки; поковки с наличием окалины; изделия с участками сварного шва; вязкие, труднообрабатываемые, жаропрочные и нержавеющей стали и т.д.

Качественный скачок в развитии твердых сплавов дало использование их в виде механически закрепляемых многогранных неперетачиваемых пластин (МНП), Важнейшим преимуществом МНП оказалась возможность нанесения на них износостойких покрытий толщиной 5...10 мкм, повышающих их стойкость в 2-3 раза. Чрезвычайно перспективно также изготовление, твердосплавных пластин с однослойными (TiC), двухслойными (TiC + TiN) и трехслойными (TiC + TiN + Al₂O₃) покрытиями.

Металлокерамические материалы. Основой металлокерамических сплавов является окись алюминия Al₂O₃. В порошок Al₂O₃ с целью повышения прочности добавляют вольфрам, молибден, бор, титан и др. металлы: прессуют с последующим спеканием пластинки

нужных размеров и форм. Такие изделия называются керметами и используются при обработке труднообрабатываемых материалов.

В России выпускается ряд минералокерамических сплавов на основе Al_2O_3 (лучшая марка ЦМ-442) и керметов (ВЗ, ВОК-60, ВОК60-3).

Основным преимуществом минералокерамики является высокая теплостойкость ($1200^\circ C$), дающая возможность обрабатывать материалы со значительно большими скоростями, чем при пользовании инструментами из твердых сплавов. В то же время для минералокерамики характерны высокая хрупкость и малое сопротивление изгибающим нагрузкам, что существенно ограничивает возможности ее использования. Наилучшие результаты керамика показывает при работе на жестких, мощных станках со скоростью резания 300.....700 м/мин. и подаче 0,06...0,6 мм/об.

Сверхтвердые материалы (СТМ). Сверхтвердые материалы на основе поликристаллов синтетических алмазов и кубического нитрида бора (эльбор) позволяют обрабатывать с высокой производительностью закаленные стали с твердостью HRC 60-70, белые чугуны (до HB 500...600), твердые сплавы.

Абразивные материалы. Процесс обработки поверхностей абразивными инструментами - шлифовальными кругами, брусками, шкурками, пастами называется шлифованием. Применяется шлифование в большинстве случаев для окончательной чистовой обработки и является основным методом получения высокой точности и незначительной шероховатости поверхностей. Шлифованием можно обрабатывать как очень мягкие, так и чрезвычайно твердые материалы, включая закаленную сталь, твердые и сверхтвердые сплавы, поверхности различной формы: плоские, цилиндрические, конические, фасонные.

Абразивный (шлифующий) инструмент состоит из зерен абразивного материала, связанных между собой специальной связкой. Отличительной особенностью абразивных инструментов является их способность самозатачиваться: по мере затупления зерна либо выкрашиваются, либо раздробляются, обнажая острые режущие кромки нижележащих зерен.

Абразивные материалы подразделяются на естественные и искусственные.

К естественным относятся породы и минералы, встречающиеся в природе: кварц, наждак, корунд и алмаз. Кварц (КВ) представляя! собой крупнокристаллический кремнезем SiO_2 , обладает невысокими режущими свойствами.

Наждак (Н) и корунд (Е) состоят из Al_2O_3 и примесей.

Естественные абразивы применяют для изготовления шлифовальной шкурки, порошков, брусков, полировальных паст.

Искусственные абразивные материалы получают плавкой в электропечах. К ним относятся электрокорунд (Al_2O_3), карборунд (карбид кремния SiC), монокорунд (имеет зерна окиси алюминия с большим количеством граней). Искусственным путем при высоком давлении (10^5 МН/м²), и высокой температуре ($2000^\circ C$) получают эльбор - синтетический материал на основе кубического нитрида бора B_4N и синтетические алмазы. Электрокорунд в зависимости от содержания Al_2O_3 делится на нормальный электрокорунд (87...97% Al_2O_3) марок 12А, 13А, 14А, 15А, 16А и белый электрокорунд (98..99% Al_2O_3) марок 22А, 23А, 24А, 25А. У последнего режущая способность на 30...40 % выше. Другие виды электрокорундов - хромистый электрокорунд (37А) и монокорунд (43А, 44А, 45А).

Ввиду того, что электрокорунд обладает определенной вязкостью, его используют, главным образом, для обработки стали, чугуна, цветных сплавов.

Карбид кремния (карборунд SiC), по сравнению с электрокорундом, обладает более высокой твердостью и меньшей вязкостью.

Черный карбид кремния (не менее 95% SiC) марок 53С, 54С, 55С применяют для шлифования чугуна, латуни, бронзы, алюминиевых сплавов.

Зеленый карбид кремния (не менее 97% SiC) марок 63С, 64С используется для обработки инструментов из металлокерамических твердых сплавов.

Синтетические алмазы (А) и эльбор (КНБ) применяются для окончательного шлифования (доводки) твердосплавного инструмента, а также особо тонкой чистовой обработки. Из них изготавливают круги, бруски, надфили, напильники и пр. Для доводочных работ исполь-

зуют также порошки и пасты из синтетических алмазов. Производительность и качество обработки абразивными материалами определяются зернистостью. Установлены следующие номера зернистости: 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16, 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3, М40, М20, М14, М10, М7, М5. Наибольший размер зерна (2500 мкм) имеет номер 200, наименьший - (3,5 мкм) номер М5. Абразивные материалы № 200-16 называются шлифзерном; № 12-3 - шлифпорошками, № М40-М5 микропорошками.

Для соединения зерен в единое целое применяют цементирующие органические, неорганические и металлические вещества - связки. К органическим связкам относится вулканитовая (В) и бакелитовая (Б). Вулканитовая связка состоит из каучука и серы. Шлифовальные круги на вулканитовой связке обладают прочностью, пластичностью, влагостойкостью, допускают большие окружные скорости и обладают высоким полирующим действием, но быстро засаливаются. Бакелитовая связка состоит из искусственной смолы. Круги на этой связке прочны, эластичны, допускают большие скорости вращения, но разрушаются от действия щелочной охлаждающей жидкости.

К неорганическим связкам относятся керамическая (К), магнезиальная (М) и силикатная (С). Керамическая связка получила наибольшее распространение. Основной материал связки - глина, полево шпат, кварц. Связка эта огнеупорная, химически стойкая. Абразивные инструменты на ее основе обладают большой производительностью, хорошо сохраняют профиль рабочей кромки, не боятся влаги.

В алмазных кругах применяют металлическую связку из олова, алюминия и меди.

Важной характеристикой абразивного материала является твердость, под которой понимают сопротивление связки вырыванию абразивных зерен внешней силой. Установлена шкала твердости, в которой имеется семь классов твердости, каждая из которых делится в свою очередь на несколько степеней

При обработке твердых материалов абразивные зерна изнашиваются более интенсивно и во избежание засаливания круга его надо выбирать более мягким. При обработке мягких материалов абразивные зерна изнашиваются медленнее и во избежание излишнего износа круга связку выбирают более твердой.

Кроме материала зерна, зернистости, твердости и связки, абразивный инструмент определяет еще и структура - соотношение между зернами, связкой и порами в единице объема. Абразивный инструмент имеет 12 номеров структур, которые делятся на плотные (1...3), среднеплотные (4..6) и открытые (7...12). Чем больше номер, тем больше промежутки между зернами. При повышении номера структуры прижоги обрабатываемой поверхности уменьшаются.

Шлифовальные круги в зависимости от их назначения изготавливают различной геометрической формы. Чаще всего используют круги плоские прямого профиля (ПП). Могут использоваться диски (Д), плоские с выточкой (ПВ), чашки цилиндрические (ЧЦ), чашки конические (ЧК) и т.п.

Маркировка шлифовального круга включает в себя основные его характеристики. Например, маркировка 14А 25 СМ6К5; ПП250х16х32; 35м/с расшифровывается следующим образом: 14А - вид абразивного материала (электрокорунд нормальный); 25 - зернистость; СМ - степень твердости; 6 - номер структуры; К5 - вид связки; ПП - форма круга; 250 - наружный диаметр; 16 - ширина; 32 - диаметр отверстия; 35м/с - допускаемая окружная скорость. Используют и более полную маркировку кругов.

Алмазные круги состоят из корпуса, на котором укреплен алмазоносный слой толщиной 0,5—3,0 мм. Корпус изготавливают из стали, алюминиевых сплавов или полимеров, а алмазоносный слой состоит из алмазного порошка, связки и наполнителя. Круги выпускают с 25-, 50-, и 100—процентной концентрацией алмазного порошка. За 100—процентную концентрацию принято содержание 0,878 мг/мм² алмазного слоя. В качестве наполнителя используют твердые минералы (карбид бора, карбид кремния, электрокорунд и пр.).

7.4. Виды изнашивания и стойкость режущего инструмента

Важнейшими составляющими сложного механизма резания металлов являются процессы пластической деформации, трения, изнашивания и разрушения, протекающие в зоне резания.

Механизм изнашивания режущего инструмента можно условно классифицировать следующим образом:

- а) усталостно-адгезионное изнашивание;
- б) механико-химическое изнашивание;
- в) диффузионное изнашивание.

При усталостно-адгезионном изнашивании режущего инструмента, в результате трения, произвольно выбранный микрообъем, примыкающий к трущейся поверхности инструмента с микроповерхностями заготовки испытывает циклическую нагрузку, вектор которого быстро меняется во времени. В результате такого воздействия в таких микрообъемах накапливаются и развиваются, которые в конце концов являются причиной его разрушения. Отделение частиц в процессе изнашивания происходит в результате адгезионного взаимодействия или вымывания средой.

Отделяющиеся частицы, испытывающие упрочняющие воздействия пластической деформации, внедряются в поверхность более мягкого материала и стружки, выполняя роль абразивного материала при изнашивании инструмента. Микронеровности на поверхности стружки и заготовки могут быть причиной абразивного изнашивания инструмента. Во многих марках обрабатываемых материалов имеются включения частиц-карбидов, оксидов, интерметаллидов и т.п., которые могут выполнять роль абразивного материала и тем самым увеличивать изнашивание инструмента.

При механическом изнашивании на поверхностях трения протекают химические реакции, в результате которых на контактирующих поверхностях образуются пленки, обладающие иными, чем у материала физико-химическими свойствами. Эти пленки в процессе трения рабочих поверхностей инструмента о стружку и заготовку отделяются и удаляются из зоны резания. Также можно отнести к механическому изнашиванию окислительное изнашивание.

Диффузионное изнашивание связано с разупрочнением режущего инструмента в результате диффузии углерода и легирующих элементов из слоев, примыкающих к рабочим поверхностям в заготовку, стружку и в частицы изнашивания. Оно возникает при наличии адгезионного контакта трущихся поверхностей. Скорость диффузионного изнашивания можно уменьшить при уменьшении фактического адгезионного контакта и температуры в зоне резания. Такой подход уменьшения диффузионного изнашивания снижает производительность при резании материалов. Снижение диффузионного изнашивания можно добиться также путем непрерывной подачи в зону резания углерода и других легирующих элементов, которые подробно описаны в п.7.14.

Стойкость режущего инструмента называют машинное время его работы между переточками. На стойкость режущего инструмента влияют: состояние обрабатываемого материала, физико-механические свойства материала инструмента, режимы резания и технологические средства применяемые при резании. Стойкость оказывает большое влияние на производительность и стоимость обработки; ее выбирают такой, чтобы стоимость выполняемой операции была минимальной. Сложные дорогие инструменты, устанавливаемые на станках со сложной наладкой, должны иметь большой период стойкости между переточками.

7.5. Упрочнение режущего инструмента при резании

С целью охлаждения инструмента при резании, т.е. для отвода тепла из зоны резания применяют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Большинство СОЖ содержат углеводороды с различными присадками. СОЖ попадая в зону резания, смазывает трущиеся поверхности, уменьшает трение, снижает работы деформации и охлаждает режущий инстру-

мент и деформируемые слои. СОЖ смазывает рабочие части инструмента, препятствует образованию на них схватывания со стружкой, наростов.

СОЖ значительно повышает стойкость режущего инструмента, а следовательно, является возможность повышения скорости резания, снижается сила резания.

Однако, большая часть продуктов разложения СОЖ, в зоне резания вступает во взаимодействие с контактными поверхностями инструмента, способствует образованию на его поверхностях хрупких соединений типа карбидов, окислов и др.. Эти соединения при резании выкрашиваются и разрыхляют поверхностные слои инструмента. Эти процессы значительно ускоряют за счет цикличности температурных и силовых воздействий, следовательно, СОЖ значительно влияет на диффузионные процессы и образование новых структурных составляющих на рабочих поверхностях режущего инструмента. Действие СОЖ в этом плане значительно шире, чем известные ее смазочно-охлаждающие функции. СОЖ в зависимости от ее химического состава, коренным образом изменяет энергетическое соотношение в технологических процессах обработки металлов, стимулирует структурные превращения, приводя контактные и приконтактные поверхности режущего инструмента в качественно новое состояние. Роль этих факторов в протекании износа может быть устранена при условии оценки влияния СОЖ на теплоэнергобаланс процессов, происходящих в контактных рабочих зонах инструмента при эксплуатации.

Изменением химического состава СОЖ можно регулировать диффузионные процессы протекающие на рабочих поверхностях инструмента, с целью образования на них более износостойких и теплостойких фаз, вместо хрупких. Добавка в стандартный СОЖ азото- и углеродосодержащих веществ - например карбида и триэтанолamina. Эти вещества разлагаются при температуре 400...500⁰С с образованием азота и углерода, а в температурном интервале 520...600⁰С на поверхностях инструмента непрерывно образуются карбонитриды и нитриды.

Эти соединения обладают высокой твердостью, износостойкостью, теплостойкостью и достаточной пластичностью. Таким образом, упрочнение инструмента происходит без значительных капитальных расходов и технологических приемов.

7.6. Электрофизические и электрохимические методы обработки

В различных областях машиностроения все более широко используются труднообрабатываемые материалы: жаропрочные, аустенитные нержавеющие и магнитные стали, а также твердые сплавы, рубины, полупроводниковые материалы. Обработка таких материалов резанием чрезвычайно затруднена, а иногда и невозможна. Кроме того, при обработки деталей особо малых размеров, с фасонными прорезами, соединительными каналами в труднодоступных местах и т.п., обычные методы обработки весьма трудоемки и сложны. Для этих целей широко используют электрохимические и электрофизические методы размерной обработки. Эти методы обработки основаны на физико-химических процессах энергетического воздействия на твердое тело, при котором от него отделяются мельчайшие частицы.

В зависимости от используемых физико-химических процессов эти методы обработки можно разделить на четыре группы:

а) электрофизические методы обработки токопроводящих материалов, основанные на использовании преобразуемой в тепло энергии электрических разрядов, возбуждаемых между инструментом и заготовкой;

б) электрохимическая обработка основанная на преобразовании электрической энергии в энергию химических связей, которой металл заготовки превращается в легко удаляемые из зоны обработки химические соединения;

в) ультразвуковая обработка, основанная на импульсном ударном механическом воздействии на материал с высокими частотами;

г) лучевые способы обработки, основанные на съеме материала заготовки при воздействии на нее концентрированных лучей с высокой плотностью энергии.

Преимуществами электрофизических и электрохимических методов обработки является возможность обработки сверхтвердых и труднообрабатываемых материалов, сверлить глухие фасонные отверстия, плоскости сложной формы, криволинейные отверстия сверхмаленьких диаметров (в сотых долях миллиметра), отсутствие силовых воздействий на заготовки и наконец технологические процессы хорошо поддаются механизации и автоматизации.

Следует отметить, что при механической обработке обычных конструкционных материалов производительность и точность обработки более высокая. Исходя из этих соображений эти методы обработки более эффективны при обработке труднообрабатываемых материалов и сложных по профилю деталей.

Электрохимические методы обработки. В практике используются различные электрохимические методы обработки металлов, но во всех методах сущность процессов заключается в том, что при прохождении постоянного тока через электролит электрод, соединенный с положительным полюсом источника тепла растворяется.

К ним можно отнести электролитическое полирование. При протекании постоянного электрического тока между электродами, которые находятся в ванне с раствором электролита. На поверхности детали, установленной в электролитической ванне на аноде, при прохождении тока образуется защитная пленка, предохраняющая впадины микронеровностей от его воздействия. На выступах микронеровностей поверхности под действием токов высокой плотности происходит анодное растворение. Впадины между микровыступами заполняются растворением. В результате избирательного растворения микронеровности сглаживаются и обрабатываемая поверхность приобретает металлический блеск. Электрополирование позволяет одновременно полировать партию заготовок по всей поверхности.

Электрохимическое прошивание (сверление) отверстия применяется для сверления труднообрабатываемых материалов. К заготовке являющейся анодом, подается электролит через трубку, служащую катодом. Зазор между торцом трубки и обрабатываемой поверхностью, исключаящий межэлектродный контакт, создается давлением вытекающего электролита. При прохождении через электролит тока происходит анодное растворение металла заготовки и продукта растворения уносятся протекающим электролитом через отверстие в ванне. Трубка под действием пружины совершает движение подачи при этом сохраняется постоянный межэлектродный зазор.

Электрохимическое фрезерование паза на заготовке, являющейся анодом производится при пропускании через цепь электрического тока происходит анодное растворение заготовки при этом электролит подается в струю через трубку.

Электроабразивное шлифование, которое ведется электроабразивным кругом, состоящим из абразивных зерен и электропроводного наполнителя является одной из разновидностей электрохимических обработок. Шлифовальный круг при этом является катодом, а заготовка анодом. В рабочую зону струей подается электролит. Электроабразивное шлифование обеспечивает более высокую производительность, чистоту поверхности, меньший износ круга и из-за незначительного повышения температуры не появляются микротрещины в поверхностных шлифовальных слоях.

Электроэрозионные методы обработки. Разновидностями электроэрозионных методов обработки являются: электроискровая, электроимпульсная анодно-механическая и электроконтактная обработка металлов. Все эти методы основаны на воздействии электрических разрядов на отдельные участки обрабатываемой поверхности. В зоне обработки энергия разрядов между инструментом-анодом и заготовкой-катодом преобразуется в энергию тепловую. В рабочей зоне инструмента температура достигает нескольких тысяч градусов, что приводит к оплавлению отдельных участков.

Электроискровой метод обработки основан на явлении разрушения металла в цепи постоянного тока под действием искрового разряда. Когда катод (инструмент-электрод) приближается к заготовке на величину пробивного зазора δ , возникает электрический разряд, на

который затрачивается вся энергия, накопленная в батарее конденсаторов С. В результате возникает кратковременный мощный искровой разряд, при котором температура в канале проводимости достигает 6000...7000⁰С. При этом происходит концентрированное выделение энергии, приводящее к мгновенному расплавлению, испарению, взрывам и выбрасыванию частиц анода, которые направляются к инструменту (катоде). Для прохождения процесса инструменту нужно сообщить колебательные перемещения (подача S).

Электроискровой метод обработки используется при изготовлении различных инструментов из твердых сплавов, штампов, кокилей и т.п. К недостаткам этого способа можно отнести малую производительность и интенсивный износ инструмента при высоких температурах.

Электроимпульсный метод обработки заключается в последовательном возбуждении разрядов между инструментом и заготовкой, которая на специальном приспособлении размещена в ванне с диэлектрической жидкостью. От электродвигателя движение передается генератору импульсов, который дает импульсы только одного направления. Между электродом-инструментом и заготовкой возникают электрические разряды. Колебательное движение инструмента в направлении подачи S сообщает регулятор подачи. Сопротивление предназначено для регулирования силы тока.

Электроимпульсная обработка, в основном, применяется при трехкоординатной обработке штампов, прессформ, турбинных лопаток и т.п.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии отражены далеко не все технологические процессы, применяемые в современном производстве. Но порядок их рассмотрения систематизирован и примерно одинаков: основные определения, схема процесса, необходимые параметры и диапазоны режимов обработки, возможные разновидности обработки, получаемая продукция, оборудование и инструмент, достоинства и ограничения рассмотренного способа.

Выделяя такие основные моменты в описании любой новой технологии, можно получить о ней ясное, объективное и всестороннее представление. Между рассмотренными областями технологии существует взаимосвязь: продукция одной группы техпроцессов является исходным материалом (заготовкой) для последующих технологических звеньев производства. Последовательность при получении изделий из металлических материалов такова. Вначале выплавляется сам материал – сплав заданного состава. Это металлургический процесс. Полученный сплав в виде слитков обрабатывается давлением, чаще всего прокаткой, иногда ковкой. Катаная или кованая заготовка может далее подвергаться штамповке с целью формирования наиболее близких к готовой детали формы и размеров. Затем обработанная давлением заготовка подвергается обработке резанием с целью получения необходимого качества обработки поверхностей и точности размеров. Сначала выполняются операции черновой обработки (точение, фрезерование, сверление отверстий и др.), далее – финишные операции чистовой обработки (например, шлифование, развёртывание и хонингование отверстий). После этого заготовка отправляется далее по технологической цепочке. Возможен другой вариант получения заготовок – литейная технология. Тогда металлические слитки переплавляются, и полученный расплав заливают в литейные формы различных конструкций (в зависимости от объёмов производства и массы отливок). Заготовки, полученные методами литья, также проходят окончательное формообразование обработкой резанием.

Сварочные технологии также широко используются для получения заготовок из металлических материалов, причём сварке могут подвергаться как литые заготовки, так и полученные обработкой давлением. Сварные заготовки при необходимости также обрабатываются резанием. Изучение данного курса способствует в дальнейшем успешному усвоению специальных технических дисциплин и формированию инженерного мышления, а также расширяет технический кругозор растущего современного специалиста.

Список использованных источников

1. Иванов В.А. Специальные виды литья: учебное пособие / В.А. Иванов. – Москва: МГИУ, 2007. – 316 с.
2. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: учебник для вузов / В.А. Кудрин. – Москва: Мир, 2003. – 528 с.
3. Третьяков А.Ф. Материаловедение и технология обработки материалов : учебное пособие для вузов / А.Ф. Третьяков, Л.В. Тарасенко. – Москва: Изд-во МГТУ, 2014. – 543 с.
4. Обработка металлов давлением / под ред. Ю.Ф. Шевакина. – Москва: Интернет Инжиниринг, 2005. – 496 с.
5. Технология конструкционных материалов: учебник для вузов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин и др.; под ред. А.М. Дальского. – Москва: Машиностроение, 2005. – 592 с.
6. Технология литейного производства: Литьё в песчаные формы : учебник для вузов / под ред. А.П. Трухова. – Москва: Академия, 2005. – 528 с.
7. Моисеев В.Б. Технологические процессы машиностроительного производства : учебник / В.Б. Моисеев, К.Р. Таранцева, А.Г. Схиртладзе. – Москва: Инфра-М, 2014. – 217 с.
8. Технологические процессы машиностроительного и ремонтного производства: учебное пособие для вузов / С.И. Богодухов и др. – Старый Оскол : ТНТ, 2015. – 464 с.
9. Колганов Л.А. Сварочное производство : учебное пособие / Л.А. Колганов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. – 512 с.
10. Технология конструкционных материалов: учебник для вузов / А.М. Дальский и др. – Москва: Машиностроение, 2005. – 592 с.
11. Фельдштейн Е.Э. Режущий инструмент: учебное пособие / Е.Э. Фельдштейн. – Минск: Новое знание, 2007. – 400 с.
12. Черепяхин А.А. Технология конструкционных материалов. Обработка резанием : учебное пособие / А.А. Черепяхин. – Москва: Академия, 2008. – 288 с.

Алексей Алексеевич Кононов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Учебное пособие для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» всех форм обучения

Подписано к печати 02.10.23. Формат 60x84 /16.
Усл. печ. л. 7,00. Тираж 10 экз. Заказ 231922. Рег. № 23.

Отпечатано в ИТО Рубцовского индустриального института
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.